

ISSN 2077-2084

10.36508/RSATU.2025.43.80.001

12+

Том 17, №1, '2025

ВЕСТНИК

РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ
П.А. КОСТЫЧЕВА



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

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

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

Научно-производственный журнал

Издается с 2009 года
Выходит один раз в квартал
Том 17, № 1, 2025

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

СОСТАВ

редакционной коллегии и редакции журнала «Вестник РГАТУ»

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

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

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

Члены редакционной коллегии:

О.Н. Дидманидзе, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
А.С. Дорохов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
Я.П. Лобачевский, д-р техн. наук, профессор, академик РАН
Ю.Х. Шогенов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, академик РАН

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

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

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

Корректор – **Е.Л. Малинина**

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

Адрес редакции: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1,
ауд. 103, тел. 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru
Тираж 700. Первый завод 200. Заказ №1643
Дата выхода в свет 28.03.2025

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

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

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

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

Scientific-Production Journal

Issued since 2009

Issued once a quarter

Vol. 17 # 1, 2025

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

"RSATU Herald" EDITORIAL STAFF

Editor in Chief

S.N. Borychev,

Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Editor in Chief Deputy

G.K. Rembalovich,

Doctor of Technical Sciences,
Full Professor

Technical Editor

I.V. Chivileva,

Candidate of Psychological Sciences,
Associate Professor

Editorial Staff:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Proof-Reader – **E.L. Malinina**

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

Editorial address: 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1, 103 room,

tel: 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru

Circulation 700. The first factory is 200.

Order No.1643

Date of publication. 28.03.2025

A record CMI PI № FS77-51956, registered by the Federal service for supervision in the spherical of communications, information technology and public communications on November 29, 2012

Printed in the Publishing house of the RGATU. Address of the publishing house, printing house:

Ryazan, Kostycheva str., 1, room 103. the price of the publication is 185 rubles. 50 kopecks. Subscription index of the publication in the katologue "Press of Russia" 82422



Содержание

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Агаркова А.А., Кармишкин А.И., Сычева И.Н., Палкин М.А., Медведев И.К. Морфофизиологические показатели и продуктивность перепелов при скормливании биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2»	5
Азбабалы А.С., Нагиева Н.К. Определение состояния лесорастительного покрова в юго-западном регионе Азербайджана	12
Алиева В.М., Сайтханов Э.О., Семенов В.Г. Анализ поточности технологических процессов на мясоперерабатывающем предприятии с оценкой уровня загрязнения основных рабочих поверхностей, имеющих прямой или косвенный контакт с мясным сырьем и готовой продукцией	21
Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А. Совершенствование агротехнологических приемов для выращивания ранних баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении в условиях центрального нечерноземья	29
Исламова Ч.М., Гореева В.Н., Корепанова Е.В., Медведева Г.Р., Фатыхов И.Ш. Действие обработки посевов жидкими комплексными удобрениями и регуляторами роста на качество зерна яровой пшеницы	37
Колесникова Т.А., Куликова М.А. Исследование физико-химических характеристик навоза свинокомплекса в циклах замораживания-оттаивания	46
Макарова М.П., Виноградов Д.В., Карякина С.Д. Агроэкологическая оценка действия видов компоста на основе осадка сточных вод на продуктивность подсолнечника	55
Мурашова Е.А., Федосова О.А., Колчаева И.Н., Петряжникова Ю.В. Влияние белковых компонентов подкормки на физиологический статус рабочих пчел. Жировое тело	62
Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Коржов И.В., Ольгаренко В.И. Планирование водопользования в оросительных системах с использованием информационных технологий	69
Пушкарев В.Г. Урожайность озимой ржи в зависимости от применяемых гербицидов в условиях псковской области	76
Соколов А.А., Виноградов Д.В., Вертелецкий А.И., Крылов В.А., Гуртовой А.Л. Оценка эффективности системы защиты ячменя ярового от полегания растений и вредных организмов в условиях Рязанской области	83
Федотова А.С., Макарская Г.В., Жигарев А.А. Генерация АФК в крови кроликов при применении «Гумата калия 80» в качестве радиопротектора	93

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Батманов В.Н., Фадеев И.В., Шогенов Ю.Х., Смирнов С.Н. Устройство для ускорения процесса обогрева лобового стекла автомобиля	100
Богданчиков И.Ю., Юдина А.В., Борычев С.Н. Результаты исследования влияния движителей машинно-тракторных агрегатов на почву	106
Жбанов Н.С., Попков Н.Е., Чернышев А.Д., Колошеин Д.В., Ильчук И.А. Исследование процесса воспламенения в двигателях внутреннего сгорания, оборудованных модернизированной форкамерой	112
Калинин А.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Афанасьев М.Ю. Влияние электростатического поля на осаждение аэрозоля на растения	120
Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С., Михайлов Д.Н., Маслова Л.А. Теоретический анализ динамики воздушного потока в контейнере для хранения картофеля	128
Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Горохов А.А. Совершенствование диагностики тракторов агропромышленного комплекса	135
Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Шемякин А.В., Желтоухов А.А. Динамика воздействия активного встряхивателя элеватора на компоненты картофельного вороха	143
Онкаев А.В., Успенский И.А., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Пчельников И.В. Анализ способов производства гипохлорита натрия сельскохозяйственного назначения (на примере Республики Калмыкия)	151
Плотников С.А., Смольников М.В., Гневашев П.В., Стародумов М.А., Карташев А.Н. Уточнение характеристик дизельных топлив для безмоторной оценки эксплуатационных показателей автотракторного дизеля	164
Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Павлов В.В., Куракин Д.В., Алексеев А.Н. Исследование очистки суши сотов от органических загрязнений в водной среде	171
Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Воякин С.Н., Леонов В.В. Результаты исследований работы модернизированной тяжелой дисковой бороны при подготовке почвы	179



Content

AGRICULTURAL SCIENCES

Agarkova A.A., Karmishkin A.I., Sycheva I.N., Palkin M.A., Medvedev I.K. Morphophysiological parameters and productivity of quails when feeding the dietary supplement Baikal EM-2	5
Aghbabali A.S., Nagiyeva N.K. Determination of the forest-vegetation cover's condition for the south-western region of Azerbaijan	12
Alieva V.M., Saitkhanov E.O., Semenov V.G. Analysis of the flow of technological processes at a meat processing plant with an assessment of the level of contamination of the main working surfaces that have direct or indirect contact with meat raw materials and finished products	21
Dubenok N.N., Lebedev D.A. Improving agrotechnological methods for growing early eggplants in tunnel shelters under drip irrigation in conditions of central non-chernozem region	29
Islamova Ch. M., Goreeva V.N., Korepanova E.V., Medvedeva G.R., Fatykhov I. Sh. The effect of treatment of crops with liquid complex fertilizers and growth regulators on the quality of spring wheat grain	37
Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Research of physicochemical characteristics of pig farm manure in freeze-thaw cycles	46
Makarova M.P., Vinogradov D.V., Karyakina S.D. Agroecological assessment of the effect of compost based on sewage sludge on sunflower agroecosis	55
Murashova E.A., Fedosova O.A., Kolchaeva I.N., Petryazhnikova Yu.V. The influence of protein components of feed on the physiological status of worker bees. Fat body	62
Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Korzhov I.V., Olgarenko V.I. Planning water use in irrigation systems using information technology	69
Pushkarev V.G. Yield of winter rye depending on the herbicides used in the Pskov region	76
Sokolov A.A., Vinogradov D.V., Verteletsky A.I., Krylov V.A., Gurtovoy A.L. Evaluation of the effectiveness of the spring barley protection system against lodging of plants and harmful organisms in the Ryazan region	83
Fedotova A.S., Makarskaya G.V., Zhigarev A.A. Generation of ROS in the blood of rabbits when using "Potassium Humate 80" as a radioprotector	93

TECHNICAL SCIENCES

Batmanov V.N., Fadeev I.V., Shogenov Yu.H., Smirnov S.N. Device for accelerating the process of heating the windshield of a car	100
Bogdanchikov I.Y., Yudina A.V., Borychev S.N. Results of the study of the influence of propulsors of machine and tractor units on the soil	106
Zhbanov N.S., Popkov N.E., Chernyshev A.D., Koloshein D.V., Ilchuk I.A. Investigation of the ignition process in internal combustion engines equipped with an upgraded pre-chamber	112
Kalinin A.V., Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V., Afanasyev M.Yu. The influence of the electrostatic field on the deposition of aerosol on plants	120
Koloshein D.V., Borychev S.N., Popov A.S., Mikhailov D.N., Maslova L.A. Theoretical analysis of air flow dynamics in a potato storage container	128
Kuznetsova E.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Gorokhov A.A. Improving the diagnostics of tractors in the agro-industrial complex	135
Molokonova L.O., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V., Zheltoukhov A.A. Dynamics of the impact of an active elevator shake on the components of a potato heap	143
Onkaev A.V., Uspensky I.A., Limarenko N.V., Yukhin I.A., Pchelnikov I.V. Analysis of methods of production of sodium hypochlorite for agricultural purposes (on the example of the Republic of Kalmykia)	151
Plotnikov S.A., Smolnikov M.V., Gnevashev P.Vy., Starodumov M.A., Kartashevich A.N. Specification of the characteristics of diesel fuels for non-motorized evaluation of the performance of tractor diesel.	164
Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Pavlov V.V., Kurakin D.V., Alekseev A.N. Investigation of the purification of dry honeycombs from organic pollutants in the aquatic environment	171
Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Polikutina E.S., Voyakin S.N., Leonov V.V. Results of work studies of modernized heavy disc harrow during soil preparation	179



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с.5-11
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.5-11

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.59
DOI: 10.36508/RSATU.2025.59.87.002

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЕРЕПЕЛОВ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ «БАЙКАЛ ЭМ-2»

Алиса Анатольевна Агаркова¹ ✉, Алексей Игоревич Кармишкин², Ирина Николаевна Сычева³, Михаил Алексеевич Палкин⁴, Иван Константинович Медведев⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева», г Москва, Россия

¹ agarkova-vasilisa@mail.ru

² karmishkin.01@mail.ru

³ in_sychewa@mail.ru

⁴ m.palkin@mail.ru

⁵ i.medvedev@rgau-msha.ru

Аннотация

Проблема и цель. Целью эксперимента являлось исследование воздействия полиштаммового биологически активного вещества «Байкал ЭМ-2» на морфологические, физиологические показатели перепелов и их мясную продуктивность.

Методология. Экспериментальная часть работы была проведена в 2022-2023 гг. на базе учебно-производственного птичника ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», где в качестве объектов исследования были взяты перепела маньчжурской породы в возрасте от 4 до 40 дней. По методу пар-аналогов сформированы контрольная и четыре опытные группы. В каждой группе находилось по 50 перепелов маньчжурской породы. Перепела были здоровы и содержались в одинаковых условиях, температура и освещение соответствовали зоогигиеническим нормам. Птицам всех групп скармливали основной рацион (ОР), все перепела имели свободный доступ к воде. На протяжении всего опыта к основному рациону в опытных группах проводилось выпаивание раствора биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» в концентрациях 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % и 1 % в количестве 3 мл на голову. На протяжении всего опыта еженедельно учитывали живую массу перепелов. Оценку морфофизиологических показателей проводили с использованием стандартных методических приемов. В возрасте 40 суток проводился контрольный убой и вскрытие трех самцов от каждой группы для учета их средней живой массы.

Результаты. Установлено, что исследуемая биологически активная добавка «Байкал ЭМ-2» способствует увеличению массы железистого и мышечного желудков, печени, грудных и ножных мышц. В результате полученных данных по массе и длине семенников можно сделать вывод, что половое созревание самцов контрольной группы проходит быстрее, по сравнению с перепелами 4-й опытной группы. По общей длине кишечника опытные группы превосходили контрольную. Длина кишечника птиц опытных групп превосходила или не отличалась от показателя в контрольной группе на всем его протяжении, за исключением длины прямой кишки, где наблюдалась обратная зависимость. Наибольшей длиной кишечника отличалась 4-я опытная группа. Сравнением живой массы перепелов в разные возрастные периоды установлено, что биологически активная добавка «Байкал ЭМ-2» способствовала увеличению скорости роста перепелов опытных групп 3 и 4 в период с 11-й по 18-й день выращивания. К 40-му дню разница в показателях живой массы перепелов между опытными



группами и контрольной не превышала 3 г.

Заключение. На основании проведенных исследований дано научное обоснование применения биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» в реализации морфофизиологических показателей и мясной продуктивности перепелов маньчжурской породы.

Ключевые слова: перепела, биологически активная добавка, «Байкал ЭМ-2», морфофизиологические показатели, продуктивность.

Для цитирования: Агаркова А. А., Кармишкин А. И., Сычева И. Н., Палкин М. А., Медведев И. К. Морфофизиологические показатели и продуктивность перепелов при скормливании биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т. 17, №1, С.5-11 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.59.87.002](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.59.87.002)

Original article

MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS AND PRODUCTIVITY OF QUAILS WHEN FEEDING THE DIETARY SUPPLEMENT «BAIKAL EM-2»

Alisa A. Agarkova¹✉, Alexey I. Karmishkin², Irina. N. Sycheva³, Mikhail. A. Palkin⁴, Ivan. K. Medvedev⁵

^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹agarkova-vasilisa@mail.ru

²karmishkin.01@mail.ru

³in_sychewa@mail.ru

⁴m.palkin@mail.ru

⁵i.medvedev@rgau-msha.ru

Abstract

Problem and purpose. The purpose of our research was to study the effect of the dietary supplement «Baikal EM-2» on the morphophysiological parameters and meat productivity of quails.

Methodology. The research work was carried out in 2022-2023 on the basis of the educational and production poultry house of the Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The subjects of the study were quails of the Manchurian breed aged 4 to 40 days. A control group and four experimental groups of 50 birds each were formed using the paired analogue method. All the birds were clinically healthy and were kept in cages with the same temperature and lighting according to zoohygienic standards. The quails in the control and experimental groups received the basic ration (RR) and had free access to water. Throughout the experiment, in addition to the basal diet, the experimental groups were given 0.25%, 0.5%, 0.75% and 1% solutions of the Baikal EM-2 dietary supplement at a rate of 3 ml per head. During the experiment, the live weight of the quails was recorded weekly. The morphophysiological parameters were evaluated using standard methodological techniques. At the age of 40 days, a control slaughter and necropsy of 3 males from each group was performed to determine their average body weight.

Results. It has been established that the Baikal EM-2 food supplement used by us helps to increase the mass of glandular and muscular stomach, liver, chest and leg muscles. From the data obtained on the weight and length of testes, it can be concluded that puberty in males of the control group is faster than in quails of the 4th experimental group. Regarding the total length of the intestines, the experimental groups were superior to the control group. The experimental groups were superior to the control group in terms of total intestinal length. The intestinal length of the experimental groups exceeded or did not differ from that of the control group over the entire length of the intestine, except for the length of the rectum, where an inverse relationship was observed. The greatest intestinal length was found in the 4th experimental group. Comparing the live weights of quails in different age groups, it was found that the Baikal EM-2 dietary supplement contributed to an increase in the growth rate of quails in experimental groups 3 and 4 in the period from 11 to 18 days of cultivation. On the 40th day, the difference in live weight between the experimental groups and the control group did not exceed 3 g.

Conclusion. Based on our research, we have provided a scientific justification for the use of the dietary supplement "Baikal EM-2" in the implementation of morphophysiological indicators and meat productivity of Manchurian quail.

Key words: Quail, biologically active supplement, "Baikal EM-2", morphophysiological parameters, productivity.

For citation: Agarkova A.A., Karmishkin A.I., Sycheva I.N., Palkin M.A., Medvedev I.K. Morphophysiological parameters and productivity of quails when feeding the dietary supplement Baikal EM-2 // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1. P.5-11 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.59.87.002](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.59.87.002)



Введение

Современное птицеводство активно развивается в направлении оптимизации и повышения рентабельности отрасли. Его развитие связано с разработкой учеными новых, научно обоснованных технологий содержания и разведения птицы.

Помимо приемлемых условий содержания, важную роль в птицеводстве играет рациональное кормление. Для активизации роста птицы разработаны различные биологически активные кормовые добавки, которые оказывают положительное влияние не только на общие показатели здоровья птицы, но и на прирост живой массы [1, 2].

В настоящее время в основе кормовых добавок используют различные микроорганизмы: пробиотики, пребиотики, синбиотики, ферменты, витамины, фитобиотики, биомасса насекомых и т.д.

Самой популярной основой многих пробиотиков являются спорообразующие бактерии из рода *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens*). В отличие от других бактериальных культур, они не разрушаются желчными кислотами, могут выдерживать воздействие высоких температур и способны длительно сохранять свое действие [3].

Добавки на основе бактерий применяются не только в нашей стране, но и в странах Евросоюза. В Европе с 2006 года введен запрет на использование антибиотических средств в кормах. В препараты из живых микроорганизмов, зачастую, вводятся не только спорообразующие микроорганизмы, но и микробные культуры. Они могут быть представителями нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птиц: лакто- и бифидобактерии, дрожжи и грибы [4].

Пробиотические добавки часто используют для профилактики и лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, стимуляции иммунитета, коррекции дисбактериозов, вызванных различными факторами [5].

Ряд ученых утверждают, что пробиотики смогут способствовать снижению затрат корма, повышают сохранность поголовья, увеличивают содержание общего белка в сыворотке крови, повышают убойный выход мяса, способствуют увеличению рентабельности птицеводства [6]. Исследователи установили, что пробиотические кормовые добавки с использованием смешанных штаммов более эффективны, чем моноштаммовые [7].

Использование пребиотиков, которые подвергаются ферментации в желудочно-кишечном тракте с образованием биологически активных веществ, оказывающих бактерицидное действие на флору, отличную от индигенной микрофлоры, получает все большее распространение в птицеводстве, особенно в птицеводстве кур [5].

Ряд исследователей сообщают об использовании в практике птицеводства гуминовых кормовых добавок, которые можно рассматривать как пребиотические кормовые добавки, способствующие формированию и росту нормофлоры в желудочно-кишечном тракте птицы, и в то же время подавляющие рост условно-патогенной, и патогенной

микрофлоры [8]. Другие исследователи приходят к выводу, что использование этих добавок положительно влияет на конверсию корма в продукцию, что приводит к увеличению яйценоскости и мясной продуктивности птицы [9, 10].

В последнее время развивается отечественная технология – ЭМ-технология (Effective Microorganisms), разработанная П. А. Шаблиным, доктором медицинских наук, членом-корреспондентом РАН, который является автором нового направления в ветеринарии и ветеринарной медицине – симбиотической терапии, принцип которой основан на использовании природных микробных симбиозов. В настоящее время существуют различные варианты отечественной ЭМ-технологии для сельского хозяйства, в том числе такие известные добавки, как «Байкал ЭМ-1» и «Тамир» [11].

Препараты и кормовые добавки, созданные по этой технологии, характеризуются наличием нескольких групп микроорганизмов, находящихся в симбиозе. Продукты ЭМ-технологии оказывают положительное влияние на здоровье птицы и способствуют повышению мясной и яичной продуктивности [12]. По-видимому, по мнению ряда исследователей, этот положительный эффект продуктов ЭМ-технологии связан с комплексным действием симбиотических микроорганизмов, в том числе на развитие слизистой оболочки органов пищеварения, стимуляцию развития кишечных ворсинок, в частности, их влияние на развитие ворсинчатого слоя двенадцатиперстной и тощей кишки, а также на увеличение толщины крипт двенадцатиперстной кишки [13, 14].

В исследовании использовали микробиологический натуральный препарат «Байкал ЭМ-2». По данным производителя, он представляет собой комплекс, содержащий пробиотические штаммы микроорганизмов, сахаромикеты, гуминовые и фульвокислоты [12].

Цель исследования – изучение воздействия полиштаммового биологически активного вещества «Байкал ЭМ-2» на морфологические, физиологические показатели перепелов и их мясную продуктивность.

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась в 2022-2023 гг. на базе учебно-производственного птичника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Объектом исследования были маньчжурские перепела в возрасте от 4 до 40 дней. По методу пар-аналогов сформированы контрольная и четыре опытные группы. В каждой группе находилось по 50 перепелов маньчжурской породы для эксперимента. Перепела были здоровы и содержались в одинаковых условиях, температура и освещение соответствовали зоогигиеническим нормам. Птицам всех групп скармливали основной рацион (ОР), все перепела имели свободный доступ к воде. На протяжении всего опыта к основному рациону в опытных группах проводилось выпаивание раствора биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» в концентрациях 0,25 %; 0,5 %; 0,75 % и 1 % в количестве 3 мл на голову. На



протяжении всего опыта еженедельно учитывали живую массу перепелов. В возрасте 40 суток проводился контрольный убой и вскрытие трех самцов от каждой группы для учета их средней живой массы. Морфофизиологические показатели оценивали по стандартным методикам.

Результаты исследований

Влияние биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» на некоторые морфофизиологические показатели организма перепелов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Морфофизиологические показатели перепелов в возрасте 40 дней (n=3)

Показатели	Группа				
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2	Опытная 3	Опытная 4
Масса головы, г	10,17±0,67	10,45±0,36	9,92±0,31	8,90±0,55	10,28±0,42
Сердце, г	1,79±0,11	1,90±0,07	2,14±0,27	1,54±0,09	1,85±0,19
Железистый желудок, г	0,80±0,02	0,81±0,04	0,89±0,06	0,83±0,10	0,84±0,05
Мышечный желудок, г	4,28±0,34	4,60±0,22	4,26±0,21	4,51±0,36	4,59±0,15
Зоб, г	0,55±0,18	0,69±0,05	0,51±0,11	1,28±0,28	0,53±0,08
Масса 12-типерстной кишки, г	2,31±0,23	2,40±0,06	2,12±0,15	2,86±0,49	2,21±0,62
Длина 12-типерстной кишки, см	11,33±0,83	11,10±0,07	11,93±2,74	11,93±0,08	14,33±2,86
Масса тонкой кишки, г	1,85±0,21	2,34±0,21	1,75±0,25	3,65±0,44 *	2,68±0,32
Длина тонкой кишки, см	31,77±2,31	33,50±0,61	30,17±2,70	31,50±1,23	37,53±1,68
Масса подвздошной и слепых кишок, г	1,23±0,05	2,14±0,17 *	1,77±0,30	2,16±0,08 **	2,01±0,22 *
Длина подвздошной кишки, см	6,60±0,51	6,87±0,32	7,97±0,71	8,20±0,39	7,67±0,25
Средняя длина слепых кишок, см	6,60±0,51	6,87±0,23	7,97±0,71	8,20±0,39	7,67±0,25
Масса прямой кишки, г	0,34±0,06	0,52±0,02	0,36±0,02	0,56±0,07	0,39±0,07
Длина прямой кишки, см	4,13±0,55	3,70±0,15	3,37±0,22	4,80±0,14	3,67±0,54
Печень, г	3,98±0,29	4,16±0,52	4,57±0,38	5,13±0,20	5,76±0,29 *
Грудные мышцы (коэф. 0,95), г	32,58±3,00	39,39±2,07	38,94±2,32	36,27±0,97	36,57±1,10
Мышцы ног (коэф. 0,95), г	17,00±2,55	17,97±2,21	15,59±1,66	19,54±1,19	18,75±5,01
Семенники, г	3,40±0,51	3,45±0,83	3,02±1,78	3,73±0,86	1,69±0,27
Семенники, см	2,47±0,63	1,70±0,37	1,52±0,53	1,72±0,27	1,57±0,16

* – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,05$; ** – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,01$; *** – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,001$.

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что в ней представлены морфофизиологические показатели, которые отражают массу внутренних органов, длину кишечника, составляющего тонкий и толстый кишечник, а также массу и длину семенников у перепелов. Кроме того, можно отметить, что масса органов и длина кишечника у перепелов разных групп отличаются в зависимости от дозы получаемой биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2».

Масса головы и сердца в 3-й опытной группе была на 1,27 г и 0,25 г меньше, чем в контрольной группе. Птицы 2-й опытной группы имели наибольшую массу сердца и опережали контрольную группу на 0,35 г.

Перепела всех опытных групп превосходили контрольную группу по массе железистого желудка на 0,01 г, 0,09 г, 0,03 г и 0,04 г, соответственно. Масса мышечного желудка птиц 1,3,4-й опытных групп превышала таковую у птиц контрольной группы на 0,32 г, 0,23 г и 0,31 г соответственно. Контрольная и вторая опытная группы имели сходные показатели массы мышечного желудка. Что касается массы зоба, то у перепелов из 3 опытной группы она была максимальной по сравнению с другими

группами и контролем.

По массе печени максимальное превосходство имели представители 4-й опытной группы, разница с контрольной группой составила 1,78 г и была достоверна при $P \leq 0,05$. Для данного показателя наблюдалась возрастающая линейная зависимость от контрольной группы к 4-й опытной.

Масса грудных мышц у птиц во всех опытных группах превышала этот показатель у птиц контрольной группы: в первой опытной группе – на 6,81 г, во второй опытной группе – на 6,36 г, в третьей опытной группе – на 3,69 г, в четвертой опытной группе – на 3,99 г.

По массе мышц ног 1,3,4-я опытные группы превосходили контрольную группу на 0,97 г, 2,54 г и 1,75 г, соответственно. Контрольная группа превосходила вторую опытную группу по этому показателю на 1,41 г.

При вскрытии птиц было обнаружено, что некоторые особи не опорожнили кишечник, что сделало сравнение весовых показателей нецелесообразным. Поэтому для анализа экспериментальных данных использовали длину кишечника.

Средняя длина двенадцатиперстной кишки была наибольшей у птиц четвертой опытной груп-



пы и составила 14,33 см, что на 3,00 см больше, чем в контрольной группе. Длина двенадцатиперстной кишки птиц в опытных группах 1-3 достоверно не отличалась от контроля.

Что касается длины тонкой кишки, то 1-я и 4-я опытные группы превосходили контрольную на 1,73 см и 5,76 см соответственно. Контрольная группа превосходила вторую опытную группу на 1,6 см, а различия с третьей опытной группой были незначительными.

Длина подвздошной кишки и средняя длина слепой кишки перепелов всех опытных групп была больше, чем в контрольной группе на 0,27 см, 1,37 см, 1,6 см и 1,07 см, соответственно.

Длина прямой кишки в опытных группах 1, 2 и 4 была меньше, чем в контрольной группе на 0,43 см, 0,76 см и 0,46 см соответственно. По этому показателю опытная группа 3 превосходила контрольную на 0,67 см. Длина яичек птиц контрольной группы превышала длину яичек перепелов всех опытных групп на 0,75-0,95 см. По массе семенников птицы контрольной группы превосходили этот показатель в 4-й опытной группе на 1,71 г, показатели в опытных группах 1-3 не имели существенных отличий от контрольной группы.

Длина семенников птиц контрольной группы

превышала длину семенников перепелов всех опытных групп на 0,75-0,95 см.

Завершая анализ показателей, отраженных в таблице 1, можно сказать, что перепела опытных групп 1,3,4, получавшие биологически активную добавку «Байкал ЭМ-2», превосходили перепелов контрольной группы по массе железистого и мышечного желудков, печени, грудных и ножных мышц, а 2-я опытная группа уступала им по массе мышечного желудка и ножных мышц. В результате полученных данных по массе и длине семенников можно сделать вывод, что половое созревание самцов контрольной группы происходило быстрее по сравнению с перепелами 4-й опытной группы.

По общей длине кишечника опытные группы превосходили контрольную. Длина кишечника опытных групп превосходила или не отличалась от контрольной группы по всей длине, за исключением длины прямой кишки, где наблюдалась обратная зависимость. Наибольшую длину кишечника имела 4-я опытная группа.

Динамика изменения живой массы перепелов при скормливания им натурального продукта «Байкал ЭМ-2» до 40-дневного возраста представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Живая масса перепелов, г (n=50)

Возраст, дн.	Группа				
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2	Опытная 3	Опытная 4
4	17,56±0,51	17,61±0,53	17,59±0,49	17,42±0,45	17,41±0,55
11	41,94±0,93	36,89±0,92 ***	34,09±0,82 ***	43,91±0,91	41,83±0,81
18	87,09±1,62	86,17±1,58	82,80±1,47	92,96±1,49 **	93,91±1,31 **
25	120,97±2,18	124,56±1,93	120,87±1,80	121,12±2,10	121,79±1,74
32	157,25±2,30	156,82±2,14	153,56±2,14	156,91±2,19	156,38±2,07
40	178,81±2,62	181,68±2,72	179,65±2,46	181,57±2,16	180,71±2,46

* – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,05$; ** – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,01$; *** – разница с контрольной группой достоверна при $P \leq 0,001$

В возрасте 11 дней первая и вторая опытные группы имели достоверно подтвержденную меньшую живую массу в сравнении с другими группами. Разница составила 5,05 г между контрольной и первой опытной группой; 7,85 г между контрольной и второй опытной группой. Третья опытная группа превосходила по показателю живой массы в возрасте 11 суток показатель контрольной группы на 1,97 г. В живой массе четвертой опытной группы отличия от контрольной группы несущественные.

В возрасте 18 дней между контрольной, третьей и четвертой опытными группами была выявлена достоверная разница в средней живой массе на 5,87 г и 6,82 г соответственно. Вторая опытная группа имела отставание в живой массе в среднем на 4,29 г в сравнении с контрольной группой. В возрасте 25 суток первая опытная группа превосходила контрольную по средней живой массе на 3,59 г.

В возрасте 32 дней контрольная группа превосходила 2-ю опытную группу по средней живой массе на 3,69 г. Между другими группами в возрасте

32 суток существенных отличий не выявлено.

В силу физиологических особенностей и отсутствия полового деморфизма у цыплят маньчжурской породы до 35-дневного возраста невозможно сформировать опытные группы по половому признаку. Стоит отметить, что во 2-й опытной группе оказалось намного больше самок по сравнению с остальными группами. При условии большего количества самцов, возможно, средняя живая масса по группе была бы меньше контрольной группы.

Результаты исследований и их обсуждение

Использование биологически активной добавки «Байкал ЭМ-2» при выращивании перепелов является классическим способом увеличения скорости роста и лучшего развития мышечной массы. В возрасте 40 дней средняя живая масса перепелов опытных групп превосходила этот показатель у птиц контрольной группы на 3 г.

По данным ряда исследований доказано, что увеличение длины кишечника связано с увеличением зоны всасывания корма. В наших исследованиях во всех опытных группах длина кишечника пе-



репелов была выше, чем у перепелов контрольной группы. Некоторые исследователи, говоря о длине кишечника, отмечают факт увеличения также длины ворсинок слизистой оболочки кишечника, что способствует более эффективному всасыванию и усвоению питательных веществ корма [14].

Формирование семенников может служить показателем завершения формирования физиологической зрелости и живой массы. Длина и масса семенников в опытных группах была меньше контрольной, это говорит о том, что их половое развитие проходило медленнее, что дает перспективу для наращивания живой массы птиц.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что перепела опытных групп 1,3,4, получавшие биологически активную добавку «Байкал ЭМ-2», превосходили перепелов контрольной группы по массе железистого и мышечного желудка, печени, грудных и ножных мышц, а 2-я опытная группа уступала им по массе мышечного желудка и ножных мышц.

Из полученных данных по массе и длине семенников можно сделать вывод, что половое созревание самцов контрольной группы происходило быстрее, чем у перепелов 4-й опытной группы.

По длине целого кишечника все опытные группы превосходили контрольную. Кишечник по всей длине у опытных и контрольных групп существенных отличий не имел, за исключением длины прямой кишки, где наблюдалась обратная зависимость. Самым длинным кишечником обладали птицы 4-й опытной группы.

Сравнение живой массы перепелов разных возрастных групп показало, что биологически активная добавка «Байкал ЭМ-2» увеличивала скорость роста перепелов 3-й и 4-й опытных групп в период с 11 по 18 день выращивания. На 40-й день средняя живая масса перепелов опытных групп превосходила этот показатель в контрольной группе на 3 г.

Список источников

1. Сафиулина, Г. С., Малородов В. В. Обзор биологически активных фитобиотиков для кормления сельскохозяйственной птицы // Эффективное животноводство. – 2023. № 6(188). – С. 18-19.
2. Хамитова, В. З., Османян А. К., Малородов В. В. Эффективность выращивания бройлеров в зависимости от схем фазового кормления и использования суперпрестартерного рациона // Известия ТСХА. – 2021. – № 4. – С. 79-93.
3. Феоктистова, Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в птицеводстве // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2017. – № 159. – С. 85-107.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Safiulina, G. S., Malorodov V. V. *Obzor biologicheskii aktivnykh fitobiotikov dlya kormleniya sel'skhozaystvennoy pticy* // *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. – 2023. № 6(188). – S. 18-19.
2. Hamitova, V. Z., Osmanyanyan A. K., Malorodov V. V. *Effektivnost' vyrashchivaniya brojlerov v zavisimosti ot skhem fazovogo kormleniya i ispol'zovaniya superprestarternogo raciona* // *Izvestiya TSHA*. – 2021. – № 4. – S. 79-93.

4. Vila, B., Esteve - Garcia E., Brufau J. Probiotic micro-organisms: 100 years of innovation and efficacy; modes of action. *World's Poultry Sci. J.*, 2010, 65:369-380.

5. Методические рекомендации по использованию пробиотиков, пребиотиков и симбиотиков в птицеводстве / Под ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова, Ш.А. Имангулова. – Сергиев Посад: Изд-во ФНЦ ВНИТИП, 2008. – 41 с.

6. Иванова, О. В. Влияние викасола и пробиотиков на продуктивность цыплят-бройлеров: автореф. дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук / Иванова Ольга Валерьевна. – Новосибирск, 2003. – 24 с.

7. Урсова, Н.И. Терапевтический потенциал современных пробиотиков // *Педиатрическая фармакология*. – 2013. – № 10 (2). – С. 46-56.

8. Хорин, Б.В., Юрин Д.А. Юрина Н.А. Гуминовая кормовая добавка в рационе кур-несушек // *Вестник Ульяновского ГАУ*. – 2021. – № 2(54). – С. 223-226.

9. Корсаков, К.В. Влияние препарата гуминовых кислот на выводимость инкубационных яиц и качество выведенного молодняка / К.В. Корсаков // *Основы и перспективы органических биотехнологий*. – 2018. – № 4. – С. 27-30.

10. Гуминовые кислоты, как биогенный стимулятор мясной продуктивности цыплят бройлеров / И.В. Симакова, А.А. Васильев, К.В. Корсаков // *Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры «Технологии продуктов питания» 100-летию факультета ветеринарной медицины пищевых и биотехнологий*. Саратов. – 2018. – С. 132-137.

11. Наумов, А.Д. Применение ЕМ-технологий в животноводстве // *Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*. – 2020. – № 4(109). – С. 34-38.

12. Кормовая добавка для кур несушек, птиц и цыплят. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ozon.ru/product/kormovaya-dobavka-dlya-kur-nesushek-ptits-i-tsyplyat-baykal-em-2-1-i-dobavka-k-kormu-964835347/>.

13. Structural Changes in the Digestive Tract of Broilers when Introducing a Probiotic / E. A. Prosekova, V. P. Panov, N. G. Cherepanova [et al.] // *Journal of Biochemical Technology*. – 2021. – Vol. 12, № 2. – P. 70-77.

14. The effect of the biologically active substance Baikal EM-2 on the intestines of quails / A. Agarkova, O. Ivanova, E. Prosekova [et al.] // *BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (MSNBAS2023)*, Moscow, 05-06 декабря 2023 года. – Les Ulis, 2024. – P. 02009.



3. Feoktistova, N.V., Mardanov A.M., Hadieva G.F., Sharipova M.R. Probiotiki na osnove bakterij roda *Vacillus* v pticevodstve // *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*. – 2017. – № 159. – S. 85-107.
4. Vila, B., Esteve - Garcia E., Brufau J. Probiotic micro-organisms: 100 years of innovation and efficacy; modes of action. *World's Poultry Sci. J.*, 2010, 65:369-380.
5. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu probiotikov, prebiotikov i simbiotikov v pticevodstve / Pod red. V.I. Fisinina, I.A. Egorova, Sh.A. Imangulova. – Sergiev Posad: Izd-vo FNC Vniitp, 2008. – 41 s.
6. Ivanova, O. V. Vliyanie vikasola i probiotikov na produktivnost' cyplyat-brojlerov: avtoref. dis. ... kandidata sel'skoxozyajstvennyh nauk / Ivanova Ol'ga Valer'evna. – Novosibirsk, 2003. – 24 s.
7. Ursova, N.I. Terapevticheskij potencial sovremennyh probiotikov // *Pediatricheskaya farmakologiya*. – 2013. – № 10 (2). – S. 46-56.
8. Horin, B.V., Yurin D.A. Yurina N.A. Guminovaya kormovaya dobavka v racione kur-nesushek // *Vestnik Ul'yanovskogo GAU*. – 2021. – № 2(54). – S. 223-226.
9. Korsakov, K.V. Vliyanie preparata guminovyh kislot na vyvodimost' inkubacionnyh yaic i kachestvo vyvedennogo molodnyaka / K.V. Korsakov // *Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologij*. – 2018. – № 4. – S. 27-30.
10. Guminovye kisloty, kak biogennyj stimulyator myasnoj produktivnosti cyplyat brojlerov / I.V. Simakova, A.A. Vasil'ev, K.V. Korsakov // *Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchen noj 20-letiyu kafedry «Tekhnologii produktov pitaniya» 100-letiyu fakul'teta veterinarnoj mediciny pishchevyh i biotekhnologij. Saratov*. – 2018. – S. 132-137.
11. Naumov, A.D. Primenenie EM-tehnologij v zhivotnovodstve // *Vesnik Vicebskaga dzyarzhaynaga universiteta*. – 2020. – № 4(109). – S. 34-38.
12. Kormovaya dobavka dlya kur nesushek, ptic i cyplyat. – [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.ozon.ru/product/kormovaya-dobavka-dlya-kur-nesushek-ptits-i-tsyplyat-baykal-em-2-1-l-dobavka-k-kormu-964835347/>.
13. Structural Changes in the Digestive Tract of Broilers when Introducing a Probiotic / E. A. Proseкова, V. P. Panov, N. G. Cherepanova [et al.] // *Journal of Biochemical Technology*. – 2021. – Vol. 12, № 2. – P. 70-77.
14. The effect of the biologically active substance Baikal EM-2 on the intestines of quails / A. Agarkova, O. Ivanova, E. Proseкова [et al.] // *BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023» (MSNBAS2023), Moscow, 05-06 dekabrya 2023 goda*. – Les Ulis, 2024. – P. 02009.

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

Агаркова Алиса Анатольевна, ассистент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, agarkova-vasilisa@mail.ru.

Кармишкин Алексей Игоревич, магистрант 2 курса зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, karmishkin.01@mail.ru.

Сычева Ирина Николаевна, канд. с.-х. наук, доцент, институт зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, in_sychewa@mail.ru.

Палкин Михаил Алексеевич, магистр, лаборант кафедры частной зоотехнии. ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, m.palkin@mail.ru.

Медведев Иван Константинович, ассистент кафедры кормления животных, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, i.medvedev@rgau-msha.ru.

Author Information

Agarkova Alisa A., Assistant of the Department of Morphology and Veterinary-Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, agarkova-vasilisa@mail.ru.

Karmishkin Alexey I., 2-year Master's Student, Department of the Chair of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, karmishkin.01@mail.ru.

Sycheva Irina N., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, in_sychewa@mail.ru.

Palkin Mikhail A., Master Degree, Laboratory Assistant, Department of Special Animal Husbandry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, m.palkin@mail.ru.

Medvedev Ivan K., Assistant of the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, i.medvedev@rgau-msha.ru.

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; одобрена после рецензирования 25.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 29.01.2025; approved after reviewing 25.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГТУ, 2025, т.17, №1, с. 12-20
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.12-20

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.7
DOI: 10.36508/RSATU.2025.43.35.003

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЮГО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Агбабалы Акиф Совда оглы¹✉, Нагиева Нумуна Кочар кызы²

^{1,2} Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан

¹ aghbabali@bsu.edu.az

² numunanagiyeva@bsu.edu.az

Аннотация

Проблема и цель. В настоящее время стремительное сокращение площади лесов вследствие антропогенного воздействия отрицательно воздействует на экологическую обстановку. Одним из действенных механизмов уменьшения вреда от этого воздействия является мониторинг состояния лесов. Целью данного исследования является создание карты состояния лесорастительного покрова в юго-западном регионе Азербайджана. Рассмотрен способ оценки состояния лесорастительного покрова в юго-западном регионе Азербайджана. Рассматриваемый регион включает 3 района Азербайджана, лежащие на левом берегу реки Аракс и граничащие с территорией Ирана

Методология. Исследование проводилось на основе вычисления спектральных индексов NDVI и VCI. NDVI, представляющих собой безразмерный индекс, который отражает плотность растительности и рассчитывается как нормализованная разность между отражениями в спектральных каналах Near Infrared (NIR) и Red. NDVI и зависит от сенсора. Для региона средствами программы ENVI были построены электронные карты значений мультиспектральных индексов NDVI и VCI. Для этого были использованы снимки спутников Landsat-5 и Landsat-8 1987, 2004, 2013 и 2023 годов. Карты индексов позволили оценить плотность растительности, а также ее состояние по сравнению с предшествовавшими годами. Включение в работу снимков 2015-го года отразило отрицательную динамику площади лесов вследствие пожаров, вызванных антропогенным фактором.

Результаты. Сначала были созданы мозаичные (многоспектральные) изображения и для этого был использован инструмент Layer Stacking, чтобы наложить каналы на одно изображение, т.е. создать мозаичное изображение. На следующем этапе использовался инструмент Stretch Data, чтобы привести изображение к выражению в диапазоне 0-1, и, наконец, объединяли два изображения каждого года в полную область исследования с помощью инструмента Seamless Mosaic. По полученным снимкам был определен лесной покров и его состояние. Для этого использовался индекс NDVI (нормализованный индекс различий вегетации) для определения лесного и растительного покрова, а также индекс VCI (индекс состояния растительности) для определения состояния лесорастительного покрова. С помощью программы ENVI была произведена обработка спутниковых снимков, полученных спутниками Landsat-5 и Landsat-8 в различные годы. Была исследована территория юго-западного региона Азербайджана, в который входят 3 района: Зангеланский, Джабраильский и Физулинский.

Заключение. На основе расчета спектральных индексов NDVI и VCI были построены карты лесорастительного покрова и его состояния. Приводятся количественные оценки классифицированных участков. Показаны причины уменьшения территории лесорастительного покрова.

Ключевые слова: электронные карты, ENVI, дистанционное зондирование, лесорастительный покров, спектральные индексы, NDVI, VCI

Для цитирования: Агбабалы А.С., Нагиева Н.К. Определение состояния лесорастительного покрова в юго-западном регионе Азербайджана // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.12-20 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.43.35.003>



Original article

DETERMINATION OF THE FOREST-VEGETATION COVER'S CONDITION FOR THE SOUTHWESTERN REGION OF AZERBAIJAN

Aghbabali Akif Sovda¹✉, Nagiyeva Numuna Kochar²^{1,2} Baku State University, Baku, Azerbaijan¹ aghbabali@bsu.edu.az² numunanagiyeva@bsu.edu.az**Abstract**

Problem and purpose. Currently, the rapid reduction of forest area due to anthropogenic impact has a negative impact on the ecological situation. One of the effective mechanisms for reducing the harm from this impact is monitoring the state of forests. The purpose of this study is to create a map of the state of forest cover in the southwestern region of Azerbaijan. A method for assessing the state of forest cover in the southwestern region of Azerbaijan is considered. The region under consideration includes 3 regions of Azerbaijan lying on the left bank of the Araks River and bordering on the territory of Iran.

Methodology. The study was conducted based on the calculation of the spectral indices NDVI and VCI. NDVI is a dimensionless index that reflects the density of vegetation and is calculated as the normalized difference between the reflections in the spectral channels Near Infrared (NIR) and Red. NDVI depends on the sensor. For the region, electronic maps of the values of the multispectral indices NDVI and VCI were built using the ENVI program. For this purpose, Landsat-5 and Landsat-8 satellite images from 1987, 2004, 2013 and 2023 were used. Index maps allowed us to estimate the density of vegetation, as well as its condition compared to previous years. The inclusion of 2015 images in the work reflected the negative dynamics of forest area due to fires caused by anthropogenic factors.

Results. First, mosaic (multispectral) images were created and for this, the Layer Stacking tool was used to superimpose channels on one image, i.e. to create a mosaic image. At the next stage, the Stretch Data tool was used to bring it to an expression in the 0 ÷ 1 range, and finally, two images of each year were combined into a full study area using the Seamless Mosaic tool. Based on the obtained images, the forest cover and its condition were determined. For this purpose, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) index was used to determine the forest and vegetation cover, as well as the VCI (Vegetation Condition Index) index to determine the state of the forest cover. Using the ENVI program, satellite images obtained by Landsat-5 and Landsat-8 satellites in different years were processed. The territory of the southwestern region of Azerbaijan, which includes 3 districts: Zangelan, Jabrayil and Fizuli, was studied.

Conclusion. Based on the calculation of the NDVI and VCI spectral indices, maps of the forest cover and its state were constructed. Quantitative assessments of the classified areas are provided. The reasons for the decrease in the territory of the forest cover are shown.

Key words: electronic maps, ENVI, remote sensing, forest-vegetation cover, spectral indices, NDVI, VCI

For citation: Aghbabali A.S., Nagiyeva N.K. Determination of the forest-vegetation cover's condition for the south-western region of Azerbaijan // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025. Vol. 17, No.1, P.12-20 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.43.35.003>

Введение

Леса представляют собой значительную компоненту биосферы [20]. В глобальном масштабе лес участвует в формировании макроклимата, что проявляется в смягчении теплового режима северного полушария Земли, в увлажнении южнее лежащих засушливых регионов, в изменении направления и силы движения воздушных масс. Массовая рубка лесов, гибель их в результате пожаров и других причин ведут к увеличению притока тепла, повышению средней температуры воздуха и почвы, понижению относительной влажности воздуха [4].

В контексте глобальных изменений (климатических и антропогенных) понимание угрозы ухудшения динамики изменения лесных ресурсов и ее количественная оценка очень важны для управления территориями и поиска наиболее эффективных решений для их планирования и адаптации к

изменениям. Значение географических информационных систем (ГИС) как самого важного инструмента увеличивается в связи с резко возросшим объемом данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [18].

Изучение спутниковых изображений Земли играет важную роль в исследованиях состояния лесов, особенно в горных и труднодоступных районах. Одним из важнейших применений дистанционного зондирования Земли является мониторинг лесорастительного покрова исследуемых территорий. Картографирование по аэрокосмическим снимкам позволяет оценивать тип покрытия земной поверхности на обширных территориях. В случае лесов дистанционное зондирование широко применяется для мониторинга обезлесения вследствие вырубок, мониторинга и сертификации плантаций с саженцами и для других приложений в сельском и лесном хозяйствах. Разработка и со-



вершенствование методов мониторинга – приоритетная задача в сохранении лесных ресурсов [5].

Целью данного исследования является создание карты состояния лесорастительного покрова в юго-западном регионе Азербайджана. Исследование проводилось на основе вычисления спектральных индексов NDVI и VCI.

NDVI представляет собой безразмерный индекс, который отражает плотность растительности и рассчитывается как нормализованная разность между отражениями в спектральных каналах Near Infrared (NIR) и Red. NDVI и зависит от сенсора, поскольку он основан на значениях отражения, определяемых используемым сенсором.

Индекс VCI или “VegetationConditionIndex” (Индекс состояния растительности) впервые предложил Коган. Индекс, он рассчитывается для каждого пиксела изображения NDVI и может принимать значения от 0 % до 100 %. Минимальное и максимальное значения соответствуют наилучшему и наихудшему состоянию растительности в рассматриваемом регионе. В нормальном состоянии значение индекса колеблется около отметки в 50 %.

Объекты и методы исследования

На долю лесных массивов Азербайджана приходится лишь 11,8 % территории страны. Покрываемая лесом площадь составляет 1021 тыс. га [6].

Юго-западный регион Азербайджана составляют Зангеланский, Джабраильский и Физулинский районы. Эти районы призваны составить важную часть готовящегося транспортного коридора, соединяющего порты Каспийского моря и западную границу Азербайджана. Районы граничат с территорией Ирана и расположены на левом берегу реки Аракс.

Рельеф региона в основном представляет собой наклонные равнины с горами на западе и севере и охватывает территорию от южной части гор Малого Кавказа до реки Аракс.

В исследовании использовались спутниковые снимки Landsat-5 и Landsat-8. Провайдером снимков был сайт Геологической службы США earthexplorer.usgs.gov [19].

Спутниковые снимки фиксируют состояние местности в конкретный, четко известный момент. Вы можете оценить нарушение растительности (например, вырубки, пожары), а также сезонные изменчивости [2].

Для обработки использовались следующие изображения 1987, 2004, 2013 и 2023 годов:

1. LT05_L2SP_168032_19870719_20201014_02_T1;
2. LT05_L2SP_168033_19870719_20201014_02_T1;
3. LT05_L2SP_168032_20040701_20200903_02_T1;
4. LT05_L2SP_168033_20040701_20200903_02_T1;
5. LC08_L2SP_168032_20130710_20200912_02_T1;
6. LC08_L2SP_168033_20130710_20200912_02_T1;
7. LC08_L2SP_168032_20230706_20230717_02_T1;
8. LC08_L2SP_168033_20230706_20230717_02_T1.

Как видно, все снимки были сделаны в разные годы, но в одно и то же время года, а именно, в месяце июле. Обработка проводилась в программе ENVI [1, 8, 11]. Для охвата территории региона требовалось по 2 снимка для каждого года (снимки 032 и 033, полученные при движении спутника

по орбите 168). Из этих снимков с помощью инструмента LayerStacking было создано мозаичное изображение. Затем данные были объединены с помощью инструмента “Бесшовная мозаика”.

Как указывалось ранее, технологии ДЗЗ играют важную роль в сборе данных о лесных ресурсах. С помощью ДЗЗ вычисляют индекс NDVI, разработанный НАСА в 1980-х годах [10]. Нормализованный дифференциальный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), используется для определения лесорастительного покрова, а для определения его состояния – индекс состояния растительности VCI (Vegetation Condition Index). Индекс рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

где RED и NIR – соответственно, красный и ближний инфракрасный каналы (3-й и 4-й диапазоны Landsat-5, или 4-й и 5-й диапазоны Landsat-8) [13, 14].

NDVI – наиболее широко применяемый индекс [3, 16, 17]. Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0,2 до 0,8 [7].

Этот индикатор используется для решения задач лесного и сельского хозяйства. Оценка разработки продукта является самым популярным применением NDVI. С помощью карты распределения NDVI можно выявить изменения значений в поле. Во время роста показатель достигает максимума от 80 до 85 процентов (что является моментом давления для зерна) и затем начинает снижаться. В конце вегетационного периода индекс сокращается, отражая процесс выращивания продукта. Индекс NDVI определяет оптимальный способ уборки полей, потому что чем ниже индекс, тем сильнее высыхает зерно.

Изменения во внешнем виде инфицированных или пострадавших растений могут быть сделаны по фотографиям во время регулярных осмотров территорий. Благодаря своевременному выявлению подобных проблем защитные меры могут быть реализованы с наибольшей эффективностью.

Недостаток NDVI в том, что точные описания и индексы недоступны в пасмурные дни. Это означает, что карта индекса NDVI будет обновляться меньше, чем в южных регионах, где реже наблюдается облачность.

Результаты и обсуждение

Сначала мы создаем мозаичные (многоспектральные) изображения и для этого используем инструмент Layer Stacking, чтобы наложить каналы на одно изображение, т.е. создать мозаичное изображение. На следующем этапе мы используем инструмент Stretch Data, чтобы привести его к выражению в диапазоне 0-1, и, наконец, объединяем два изображения каждого года в полную область исследования с помощью инструмента Seamless Mosaic, а полученные изображения показаны на рис. 1.

Итак, по полученным снимкам определяем



лесной покров и его состояние. Для этого будет использоваться индекс NDVI (нормализованный индекс различий вегетации) для определения лесного и растительного покрова, а также индекс VCI

(индекс состояния растительности) для определения состояния лесорастительного покрова.

Результат, полученный при выполнении обработки в программе ENVI, показан на рис.2 (а-г).

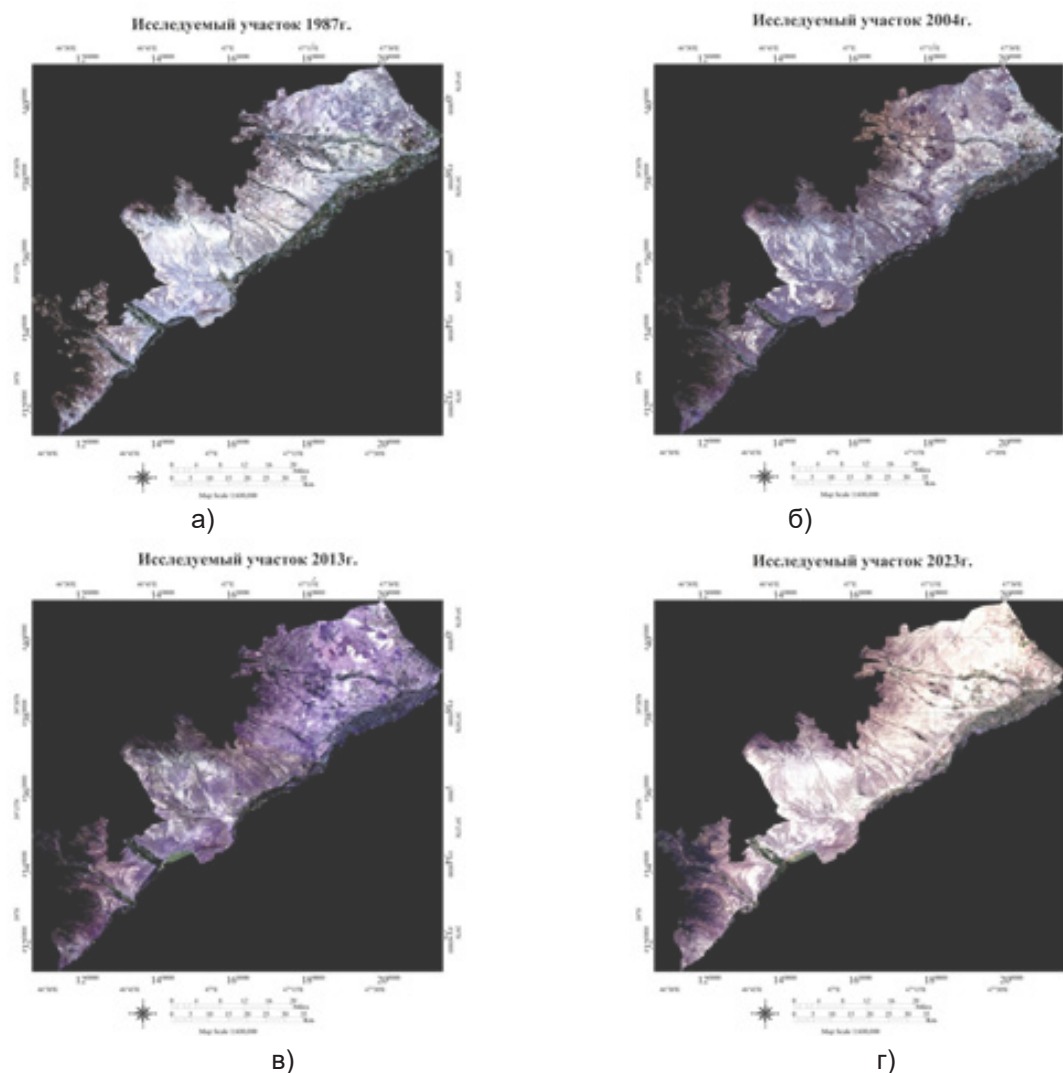
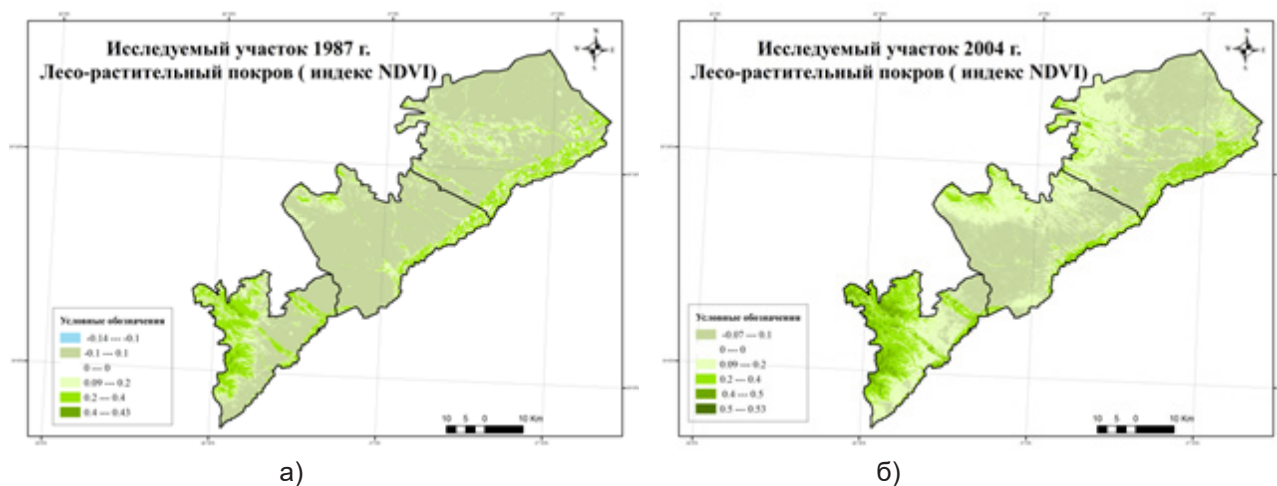


Рис.1 – Мультиспектральные снимки исследуемых участков по годам

а) 1987; б) 2004; в) 2013; г) 2023

Fig.1 – Multispectral images of the study areas: а) 1987; б) 2004; в) 2013; г) 2023



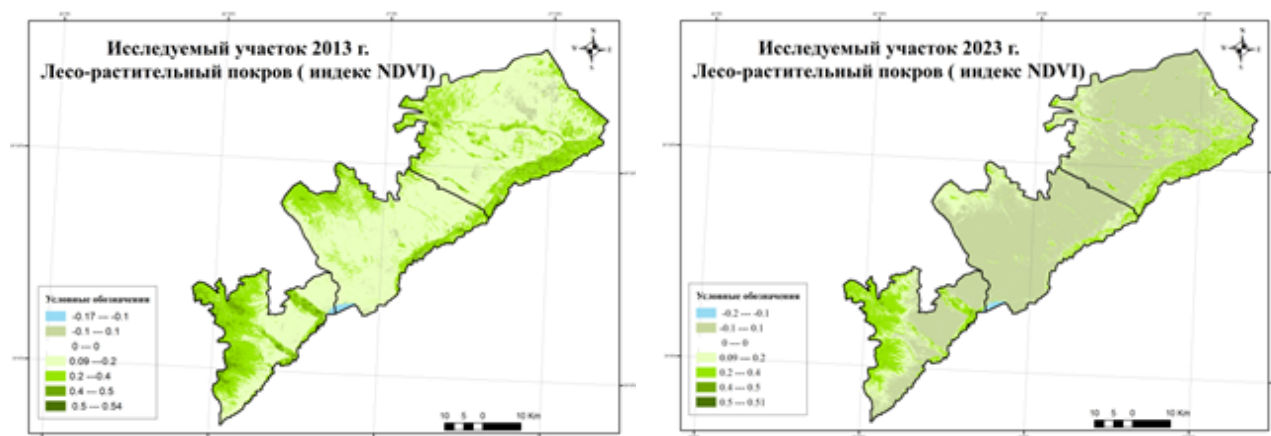


Рис.2 – Карты лесорастительного покрова, построенные на основе расчета индекса NDVI по годам
а) 1987; б) 2004; в) 2013; г) 2023

Fig.2 – Forest cover maps based on the NDVI index calculation: а) 1987; б) 2004; в) 2013; д) 2023

В таблице 1 представлены рассчитанные значения индекса и результаты классификации по типу покрова земной поверхности. На основе данных, представленных в таблице 1, построен график изменений площади каждого типа, представленный на рис. 3.

Таблица 1 – Динамика типа покрытия за 1987-2023 годы, га

Тип покрытия (значение NDVI)	1987	2004	2013	2023
Водные объекты (-0,2÷-0,1)	96,57	-	1092,51	788,49
Горы, пески, снега (-0,1÷0,1)	221387,8	144867,2	5706,9	214549,3
Облака (0÷0)	9,18	35,55	10,17	97,92
Обезлесенные территории (0,09-0,2)	53477,37	109780,5	209675,8	55423,8
Кустарники и пастбища (0,2-0,4)	41037,66	53545,59	88064,19	44432,91
Редкие деревья и кустарники (0,4-0,5)	766,98	8535,96	11873,34	1426,14
Сильная густая растительность (0,5-0,67)	-	8,55	328,32	0,45
Неклассифицированные участки	3,24	5,4	5,04	37,26



Рис.3 – График изменений площади покрытия каждого типа
Fig.3 – Graph of changes in the coverage area of each type



Состояние лесорастительного покрова было определено с помощью индекса VCI. Этот индекс является производным от индекса NDVI. Индекс рассчитывается следующим образом для каждого пиксела изображения NDVI:

- определяются минимальное и максимальное значения $NDVI_{min}$ и $NDVI_{max}$, которые наблюдались в предыдущие годы;
- разность текущего (NDVI) и минимального значения ($NDVI_{min}$) делится на разность максимального и минимального значений ($NDVI_{max} - NDVI_{min}$)
- результат умножается на 100 и выражается в процентах.

Таким образом, VCI может принимать значения от 0 % до 100 %. Максимальное и минимальное значения соответствуют наилучшему и наихудшему состоянию растительности в рассматриваемом регионе. В нормальном состоянии значение индекса колеблется около отметки в 50 %. VCI легко

рассчитывается и широко используется в литературе. Расчет индекса происходит по следующей формуле:

$$VCI = 100 \times (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}),$$

где $NDVI_{max}$ и $NDVI_{min}$ — это максимальные и минимальные значения NDVI прошлых измерений для всех пикселей текущего изображения.

VCI дает представление о том, лежит ли наблюдаемое значение между крайними значениями (минимумом и максимумом) предыдущих лет. Индекс VCI варьируется от 0 % для крайне неблагоприятных условий до 100 % при оптимальных [12].

Цель расчета этого индекса состояла в проверке качества и стабильности индекса NDVI, а также в том, чтобы выяснить, влияли ли некоторые природные или антропогенные явления на значения вычисляемых индексов [9].

Полученные результаты показаны на рис.4 (а-г).

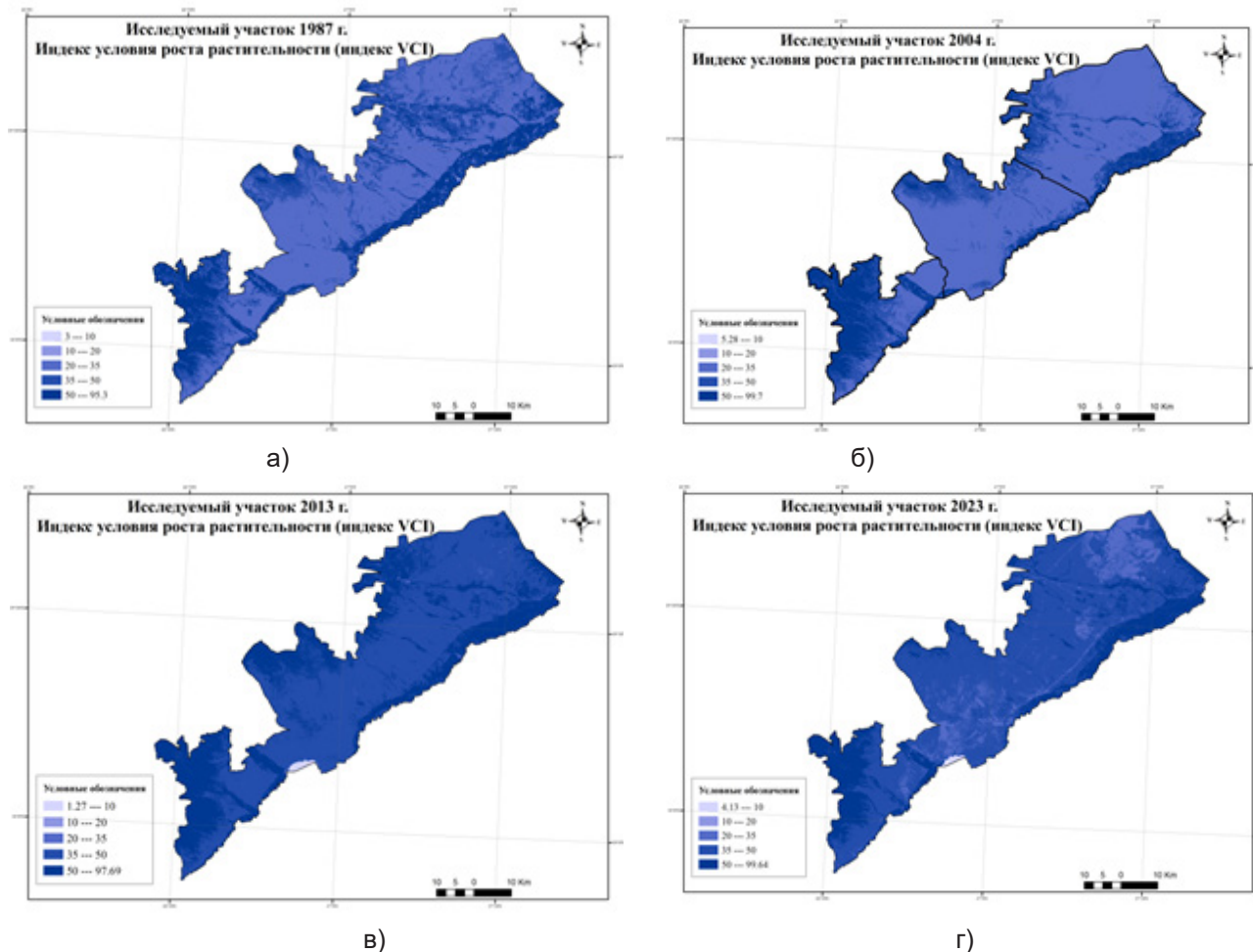


Рис. 4 — Карты состояния лесорастительного покрова, построенные на основе расчета индекса VCI по годам

а) 1987; б) 2004; в) 2013; г) 2023

Fig. 4 — Maps of forest cover condition, constructed on the basis of VCI index calculation: а) 1987; б) 2004; в) 2013; г) 2023

В таблице 2 представлены рассчитанные значения индекса и результаты классификации по типу состояния растительности. На основе дан-

ных, представленных в таблице 2, построен график изменений площади каждого типа состояния, представленный на рисунке 5.

Таблица 2 – Динамика состояния покрытия за 1987-2023 года, га

Тип состояния (значение VCI)	1987	2004	2013	2023
Экстремальная засуха (0-10%)	148,77	81,81	1081,71	694,17
Сильная засуха (10-20 %)	463,32	452,79	148,41	136,53
Умеренная засуха (20-35 %)	178318,3	199389,7	909,09	34765,2
Слабая засуха (35-50 %)	77252,22	60075,09	201983,7	21683,83
Влажность (50-100 %)	60542,28	56722,23	112661,3	65472,39
Без классификации	3,96	7,2	5,94	37,98

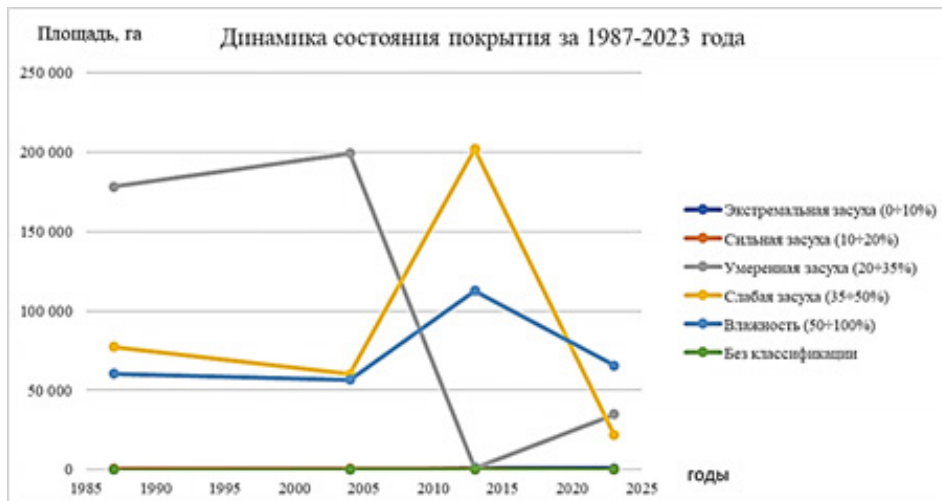


Рис. 5 – График изменений площади каждого типа состояния растительного покрова

Fig. 5 – Graph of changes in the area of each type of vegetation cover

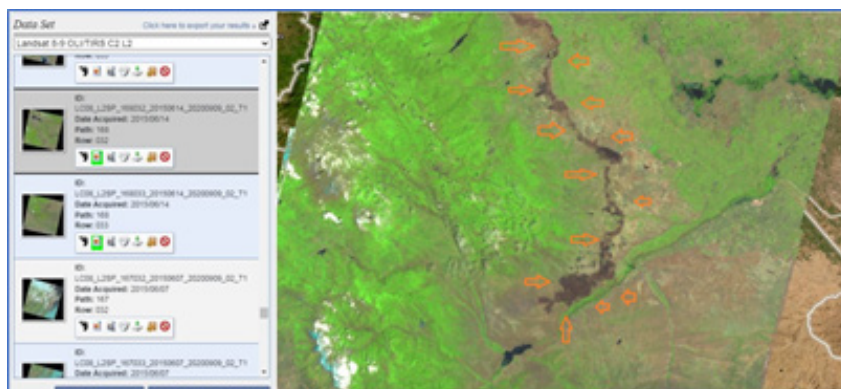


Рис. 5. Снимок Landsat-8 за июнь 2015 г.

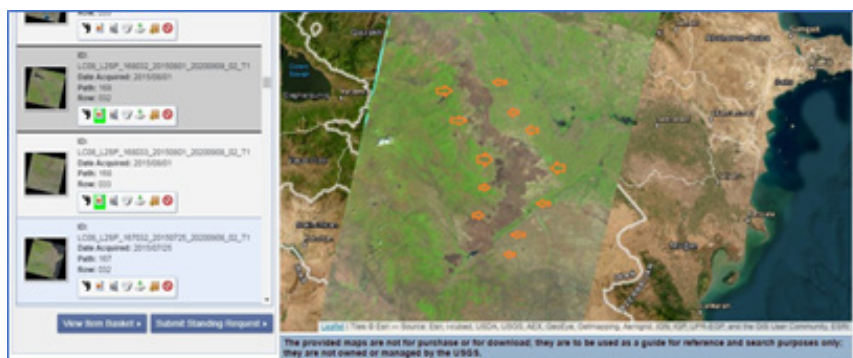


Рис. 6 – Снимок Landsat-8 за август 2015 г.

Fig. 6 – Landsat-8 image for August 2015.

Выводы

С помощью программы ENVI была произведена обработка спутниковых снимков, полученных спутниками Landsat-5 и Landsat-8 в различные годы. Была исследована территория юго-западного региона Азербайджана, который включает 3 района: Зангеланский, Джабраильский и Физулинский.

На основе расчета спектральных индексов NDVI и VCI были построены карты лесорастительного покрова и его состояния. Приводятся количественные оценки классифицированных участков. Показаны причины уменьшения территории лесорастительного покрова.



Список источников

1. Колесникова О.Н., Черепанов А.С. Возможности ПК ENVI для обработки мультиспектральных и гиперспектральных данных // *Геоматика*. №3. 2009. С. 24–27.
2. Комарова А. Ф., Журавлева И. В., Яблоков В. М. Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова // *Принципы экологии*. 2016. Т. 5. № 1. С. 24–62. DOI: 10.15393/j1.art.2016.4922
3. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Незамаев С.А. и др. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3 (19). С. 72–82.
4. Лесоведение: учебн. пособие / Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н.: Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2010. 432 с.
5. Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М. и др. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // *Лесоведение*, 2015, № 4, с. 243–254.
6. Управление горными лесами и водоразделами. Доклад Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций. Режим доступа: URL: <http://www.fao.org/forestry/36963-0ac84a8f742747df79dfe116b1d72665a.pdf>.
7. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // *Геоматика*. №2. 2011. С. 98–102.
8. Ялдыгина Н.Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства // *Геоматика*. №3, 2011. С. 34–39.
9. CGLOPS1_SQE2019_NDVI-VCI1km-V2.2 // C-GLOPS Lot1 consortium. Issue: I1.01, 2020. 46 pp.
10. *Ecological Forest Management Handbook*. Edited by Larocque, G.R. // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. 625 p.
11. ENVI Tutorials // Research Systems, Inc, Sept, 2001 Edition. 620 pp.
12. Kogan, F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. Remote Sens.* 11, 1405–1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>.
13. Landsat 5. [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>.
14. Landsat 8. [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
15. Lausch A., Erasmi S., King D.J. et al. Understanding Forest Health with Remote Sensing. Part I – A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics // *Remote Sens.* 2016, 8, 1029; doi:10.3390/rs8121029.
16. Naik, P.; Dalponte, M.; Bruzzone, L. Prediction of Forest Aboveground Biomass using Multitemporal Multispectral Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2021, 13, 1282. <https://doi.org/10.3390/rs13071282/>
17. Pettorelli N., Vik J. O., Mysterud A., et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change // *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. Vol. 20. P.503–510. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
18. *QGIS and Applications in Agriculture and Forest*. Edited by N.Baghdadi, C.Mallet, M.Zribi // ISTE Ltd 2018. 353 p.
19. USGS. Science for a changing world. [Electronic resource]. URL: www.earthexplorer.usgs.gov.
20. Young, R.A., Giese, R.L. (Editors). *Introduction to Forest Ecosystem Science And Management*. 3rd Edition // John Wiley & Sons, 2003. 589 p.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Kolesnikova O.N., Cherepanov A.S. *Vozmozhnosti PK ENVI dlya obrabotki mul'tispektral'nykh i giperspektral'nykh dannykh* // *Geomatika*. №3. 2009. С. 24–27.
2. Komarova A. F., Zhuravleva I. V., Yablokov V. M. *Otkrytyye mul'tispektral'nyye dannyye i osnovnyye metody distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii rastitel'nogo pokrova* // *Printsipy ekologii*. 2016. Т. 5. № 1. С. 24–62. DOI: 10.15393/j1.art.2016.4922
3. Kurbanov E.A., Vorob'yev O.N., Nezamayev S.A. i dr. *Tematicheskoye kartirovaniye i stratifikatsiya lesov Mariyskogo Zavolzh'ya po sputnikovym snimkam Landsat* // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye. 2013. № 3 (19). С. 72–82.
4. *Lesovedeniye: uchebn. posobiye* / Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N.: Ural. gos. lesotekhn. un-t. Yekaterinburg, 2010. 432 s.
5. Lukina N.V., Isayev A.S., Kryshen' A.M. i dr. *Prioritetnyye napravleniya razvitiya lesnoy nauki kak osnovy ustoychivogo upravleniya lesami* // *Lesovedeniye*, 2015, № 4, s. 243–254.
6. *Upravleniye gornymi lesami i vodorazdelami. Doklad Prodovol'stvennoy i sel'skokhozyaystvennoy organizatsii Ob'yedinennykh Natsiy. Rezhim dostupa*: URL: <http://www.fao.org/forestry/36963-0ac84a8f742747df79dfe116b1d72665a.pdf>.
7. Cherepanov A.S. *VegetatSIONnyye indeksy* // *Geomatika*. №2. 2011. С. 98–102.
8. Yaldygina N.B. *Ispol'zovaniye programmnogo kompleksa ENVI dlya resheniya zadach lesnogo khozyaystva* // *Geomatika*. №3, 2011. С. 34–39.
9. CGLOPS1_SQE2019_NDVI-VCI1km-V2.2 // C-GLOPS Lot1 consortium. Issue: I1.01, 2020. 46 pp.
10. *Ecological Forest Management Handbook*. Edited by Larocque, G.R. // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. 625 p.



10. *Ecological Forest Management Handbook*. Edited by Larocque, G.R. // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. 625 p.
11. *ENVI Tutorials* // Research Systems, Inc, Sept, 2001 Edition. 620 pp.
- 12.ogan, F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. Remote Sens.* 11, 1405–1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>.
13. Landsat 5. [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>.
14. Landsat 8. [Electronic resource]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
15. Lausch A., Erasmí S., King D.J. et al. Understanding Forest Health with Remote Sensing. Part I – A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics // *Remote Sens.* 2016, 8, 1029; doi:10.3390/rs8121029.
16. Naik, P.; Dalponte, M.; Bruzzone, L. Prediction of Forest Aboveground Biomass using Multitemporal Multispectral Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2021, 13, 1282. <https://doi.org/10.3390/rs13071282/>
17. Pettorelli N., Vik J. O., Mysterud A., et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change // *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. Vol. 20. P.503–510. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
18. *QGIS and Applications in Agriculture and Forest*. Edited by N.Baghdadi, C.Mallet, M.Zribi // ISTE Ltd 2018. 353 p.
19. USGS. Science for a changing world. [Electronic resource]. URL: www.earthexplorer.usgs.gov.
20. Young, R.A., Giese, R.L. (Editors). *Introduction to Forest Ecosystem Science And Management*. 3rd Edition // John Wiley & Sons, 2003. 589 p.

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

Агбабалы Акиф Совда оглы, канд. биол. наук, доцент, декан факультета Экологии и почвоведения, Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан, aghabali@bsu.edu.az

Нагиева Нумуна Кочар кызы, докторант, преподаватель кафедры Географической экологии, Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан, numunanagiyeva@bsu.edu.az

Author Information

Aghbabali Akif Sovda, Candidate of Biological Sciences, Dean of the Faculty of Ecology and Soil Science, Baku State University, Baku, Azerbaijan, aghabali@bsu.edu.az

Nagiyeva Numuna Kochar, Phd Student, Lecturer at the Department of Geographical Ecology, Faculty of Ecology and Soil Science, Baku State University, Azerbaijan, numunanagiyeva@bsu.edu.az

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 03.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 16.01.2025; approved after reviewing 03.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 648.61+579.66
DOI: 10.36508/RSATU.2025.69.89.004

**АНАЛИЗ ПОТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ
ПРЕДПРИЯТИИ С ОЦЕНКОЙ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ,
ИМЕЮЩИХ ПРЯМОЙ ИЛИ КОСВЕННЫЙ КОНТАКТ С МЯСНЫМ СЫРЬЕМ
И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИЕЙ**

Виктория Мехмановна Алиева¹, Эльман Олегович Сайтханов²✉, Владимир Григорьевич Семенов³

^{1,2} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», г. Чебоксары, Россия

¹ v.dorogova@mail.ru

² elmanrzn@gmail.com

³ semenov_v.g@list.ru

Аннотация

Проблема и цель. Данная научная работа направлена на оценку эффективности организационных, ветеринарно-санитарных мероприятий на предприятиях мясной промышленности, основное направление деятельности которых – переработка мясного сырья и производство готовой мясной продукции. Цель заключалась в оценке микробной загрязненности различных рабочих поверхностей производственного помещения мясоперерабатывающего цеха. Был проведен анализ поточности технологического процесса для установления основных зон риска микробной обсемененности мясного сырья, используемого в производстве готовых мясных изделий, для оценки микробной обсемененности и качественного состава микрофлоры на поверхностях основных зон риска (критических контрольных точек).

Методология. Исследование проводилось на базе предприятия, расположенного в городе Коломна. Производственные процессы организованы в форме системы цехов, что позволило охватить разные этапы обработки продукции. Работы выполнялись в помещении, предназначенном для выпуска готовой продукции. Проверялись поверхности, рабочее оборудование для оценки санитарного состояния. Для анализа выбраны показатели, отражающие микробиологическую безопасность. Микробиологические исследования проводили с использованием экспресс-тестов НПО «Альтернатива» для оценки микробной загрязненности производственных поверхностей в рамках их апробации в условиях реального производства на мясоперерабатывающем предприятии.

Результаты. Проведенный анализ технологической схемы производства установил наличие точек пересечения путей движения сырья и готовой продукции, что может повлечь за собой перекрестное загрязнение. Данный недостаток устраняется в процессе производства путем временного разграничения движения сырья и готовой продукции, что допустимо. В ходе работы выявлены потенциальные зоны риска, требующие пересмотра санитарных процедур. Проведена оценка микробной загрязненности с помощью экспресс-тестов Петритест®. Установлена степень микробной загрязненности рабочих поверхностей до проведения дезинфекции.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что на современных предприятиях, при недостатках конструкции зданий и сооружений, для разграничения перекрестного загрязнения продукции применяется метод временного разделения потоков. Оценка микробной обсемененности поверхностей в основных зонах риска, проведенная после мойки технологического оборудования и помещений, указывает на необходимость регулярной дезинфекции.

Ключевые слова: поточность, перекрестное загрязнение, микробная обсемененность, тест-пластины, Петритест®

Для цитирования: Алиева В.М., Сайтханов Э.О., Семенов В.Г. Анализ поточности технологических процессов на мясоперерабатывающем предприятии с оценкой уровня загрязнения основных рабочих поверхностей, имеющих прямой или косвенный контакт с мясным сырьем и готовой продукцией // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025. Т.17, №1, С. 21-28 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.69.89.004>



ANALYSIS OF FLOW OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AT A MEAT PROCESSING PLANT WITH ASSESSMENT OF THE LEVEL OF CONTAMINATION OF THE MAIN WORKING SURFACES HAVING DIRECT OR INDIRECT CONTACT WITH RAW MEAT AND FINISHED PRODUCTS

Victoria M. Alieva¹, Elman O. Saytkhanov²✉, Vladimir G. Semenov³

^{1,2} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

³Chuvashia State Agrarian University, Cheboksary, Russia

¹ v.dorogova@mail.ru

² elmanrzn@gmail.com

³ semenov_v.g@list.ru

Abstract

Problem and purpose. This scientific work is aimed at assessing the effectiveness of organizational, veterinary and sanitary measures at the meat industry enterprise, the main activity of which is the processing of raw meat and the production of finished meat products. The goal was to assess the microbial contamination of various working surfaces of the production premises of the meat processing shop. An analysis of the flow of the technological process was carried out to establish the main risk zones of microbial contamination of meat raw materials used for the production of finished meat products, an assessment of the microbial contamination and the qualitative composition of the microflora on the surfaces of the main risk zones (*critical control points).

Methodology. The study was conducted at an enterprise located in the city of Kolomna. Production processes are organized in the form of a system of workshops, which allowed to cover different stages of product processing. The work was carried out in a room intended for the release of finished products. Surfaces and working equipment were checked to assess the sanitary condition. Indicators reflecting microbiological safety were selected for analysis. Microbiological studies were conducted using express tests of NPO "Alternativa" to assess the microbial contamination of production surfaces as part of their testing in real production conditions, at a meat processing plant.

Results. The conducted analysis of the technological scheme of production revealed the presence of intersection points of the movement of raw materials and finished products, which may lead to cross-contamination. This deficiency is eliminated in the production process by temporarily separating the movement of raw materials and finished products, which is acceptable. During the work, potential risk zones were identified that require revision of sanitary procedures. An assessment of microbial contamination was carried out using Petritest® express tests. The degree of microbial contamination of work surfaces before disinfection was determined.

Conclusion. The analysis shows that at modern enterprises, with deficiencies in the design of buildings and structures, the method of temporary separation of flows is used to differentiate cross-contamination of products. An assessment of the microbial contamination of surfaces in the main risk zones, carried out after washing the process equipment and premises, indicates the need for regular disinfection.

Key words: flow, cross-contamination, microbial contamination, test plates, Petritest®

For citation: Alieva V.M., Saytkhanov E.O., Semenov V.G. Analysis of the flow of technological processes at a meat processing plant with an assessment of the level of contamination of the main working surfaces that have direct or indirect contact with meat raw materials and finished products // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1. P.21-28 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.69.89.004>

Введение

Ветеринарно-санитарные мероприятия в животноводстве направлены в первую очередь на сохранение здоровья животных, обеспечение адаптивных организму условий содержания, что обеспечивает выпуск безопасной и высококачественной продукции. Эти мероприятия включают предупреждение заболеваний, контроль санитарного состояния хозяйств, выполнение требований к качеству готовой продукции.

Нормативные документы, среди которых важно выделить «Санитарные правила для предприятий мясной промышленности», утвержденные в 1986 году [3], а также «Санитарные и ветеринарные требования к проектированию предприятий мясной промышленности», разработанные в 1993 году, регулируют проектирование, строительство и

эксплуатацию мясоперерабатывающих объектов [2, 6], в том числе в части обеспечения ветеринарно-санитарных норм и правил. Нормативные документы определяют нормативы, соблюдение которых обеспечивает профилактику инфекционных заболеваний, контроль качества продукции, исключение случаев пищевых отравлений (токсикоинфекций, токсикозов).

Производственные процессы в сфере животноводства требуют соблюдения санитарных норм, начиная с выбора участка для строительства предприятий. Принимаются во внимание такие параметры, как рельеф местности, глубина грунтовых вод, другие особенности окружающей среды. Организация санитарного режима охватывает множество аспектов, включая создание барьеров, поддержание чистоты помещений, регулярную



обработку оборудования [1, 3, 8].

Усовершенствование ветеринарно-санитарных мероприятий осуществляется благодаря работе специалистов из разных областей. Новейшие разработки отечественной химической промышленности, Всероссийского научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, ученых высших учебных заведений нашей страны позволяют находить новые технологические приемы профилактики инфекционных заболеваний, в том числе опасных для человека, обеспечивать надлежащее санитарное состояние животноводческой продукции [1, 2, 3, 7].

На предприятиях предусмотрены входной контроль, специализированные зоны обработки, адаптация процессов под конкретные условия. Развитие технологий позволяет внедрять современные средства для дезинфекции, автоматизировать рабочие процессы, улучшать результаты санитарных мероприятий. Такие подходы повышают эффективность работы, обеспечивая соответствие установленным стандартам [6, 8].

В современных условиях для обеспечения внутреннего производственного ветеринарно-санитарного контроля можно найти экспресс-тесты для быстрой и эффективной индикации микроорганизмов в объектах внешней среды. Одним из подобных решений занимаются специалисты НПО «Альтернатива». Данная организация занимается разработкой систем индикации микроорганизмов на различных поверхностях производственных помещений, в продуктах питания, в воздухе. Компания предлагает альтернативу импортным средствам индикации 3М Petrifilm, которые широко используются за границей. На сегодняшний день разработка отечественных аналогов в условиях высокой потребности в импортозамещении – актуальный и важный вопрос. В своей работе мы использовали экспресс-тесты НПО «Альтернатива» для оценки микробной загрязненности производственных поверхностей в рамках их апробации в условиях реального производства, на мясоперерабатывающем предприятии.

рабатывающем предприятии.

Материалы и методы исследования

Цель работы – оценить микробную загрязненность различных рабочих поверхностей производственного помещения мясоперерабатывающего цеха.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести анализ поточности технологического процесса для установления основных зон риска микробной обсемененности мясного сырья, используемого для производства готовых мясных изделий;

- оценить микробную обсемененность и качественный состав микрофлоры на поверхностях основных зон риска (критических контрольных точек).

Объектом наших исследований являлся цех для производства готовых мясных изделий мясоперерабатывающего предприятия ООО «Диво», г. Коломна Московской области.

ООО «Диво» относится классификационно к предприятиям неполного производственного цикла, осуществляющим переработку мясного сырья и полуфабрикатов. Согласно протоколам ХАССП предприятия, строго соблюдаются поточность производственного цикла, периодичность мойки, ветеринарно-санитарных мероприятий (дезинсекция, дератизация, дезинфекция), строго соблюдаются требования ветеринарного законодательства при обороте продукции животноводства и производстве готовых мясных изделий.

Согласно схеме исследований (рис. 1), для решения поставленных задач проводили оценку структуры предприятия с анализом технологической схемы движения сырья и готовой продукции, а также оценку микробной обсемененности отдельных точек производственных цехов.

Анализ поточности проводили путем визуальной оценки расположения производственных зон и помещений, а также на основании изучения системы ХАССП.

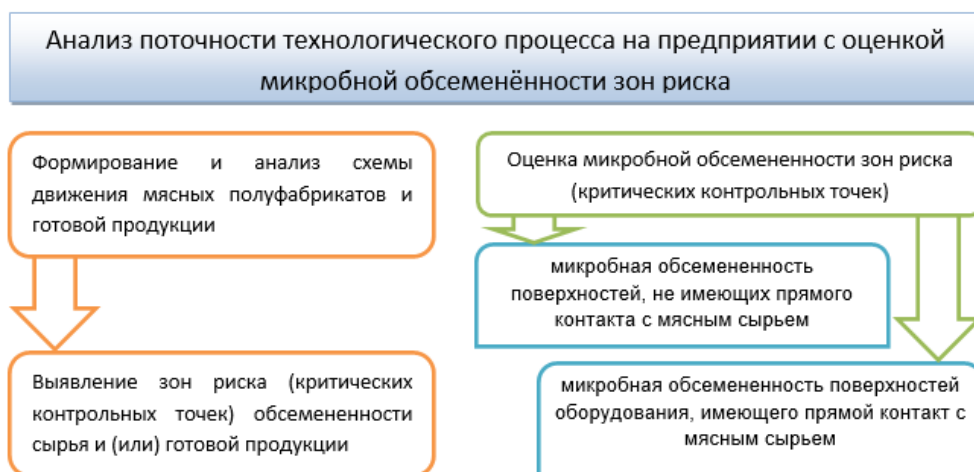


Рис. 1 – Схема исследований.
Fig. 1 – Research scheme.



Критические контрольные точки выявляли, основываясь на системе ХАССП, принятой на предприятии, а также по результатам собственных исследований.

Для оценки микробной обсемененности по плану исследований критические контрольные точки, выявленные в результате исследований, были разделены на две группы. Согласно методике исследования проводили оценку микробной обсемененности и качественный состав микрофлоры поверхностей, не имеющих прямого контакта с мясным сырьем (сливного трапа производственного помещения и стеллажа для дефростации мяса), а также оценку количественного и качественного состава микрофлоры на поверхности оборудования, имеющего прямой контакт с мясным сырьем (гастроёмкости и фаршемешалки).

В ходе работы, микробиологические исследования проводили с помощью тест-систем «Петритест», разработчиком которых является компания НПО «Альтернатива». Следует отметить, что НПО «Альтернатива» имеет свидетельство об аттестации своей методики измерений счетной концентрации микроорганизмов в пробах сырья с помощью тест-пластин Петритест®. Это подтверждает, что данная методика соответствует всем метрологическим стандартам, установленным Федеральным законом № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [5]. Данная методика может быть использована для проведения исследований на выявление санитарно-показательных и патогенных групп микроорганизмов, в том числе аккредитованными лабораториями, что подтверждает точность полученного результата.

Удобство использования тест-пластин Петритест® в экспресс-контроле в условиях производства заключается в отсутствии необходимости приготовления и розлива питательных сред, что подразумевает наличие специализированных помещений определенного класса микробиологической чистоты, в длительных сроках хранения, доступной цене. Свидетельство об аттестации 241.0001/RA.RU.311866/2023 опубликовано в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. Методика измерений аттестована в соответствии с Приказом Минпромторга России от 15.12.2015 г. №4091 «Об утверждении Порядка аттестации первичных референтных методик (методов) измерения, референтных методик (методов) измерений и их применения».

В соответствии с требованиями Методических указаний по контролю качества дезинфекции объектов, подлежащих ветеринарному надзору, утвержденных Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 16 мая 1988 г. № 432-3), проводится оценка обсемененности поверхностей живыми микроорганизмами, отнесенными к так называемой «санитарно-показательной микрофлоре». К этой группе относят бактерии группы кишечной палочки, стафилококков, микобактерии и спорообразующие бактерии-аэробы группы *Bacillus*.

В нашей работе для микробиологического кон-

троля мы использовали следующие тест-пластины Петритест®: 1) Тест на БГКП (для выявления колиформных бактерий в т.ч. *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Hafnia*) – среда агаризованная; 2) Тест на определение Стафилококка – среда агаризованная; 3) Тест на определение грибов/дрожжей – среда агаризованная; 4) Тест для обнаружения и идентификации колиформных (колиморфных) – сухая хромогенная среда.

Согласно методическим рекомендациям 4.2-022-2016 [5, 9], для контроля микробного загрязнения поверхности смывы отбирали с площади 100 см², используя для этого металлический трафарет, который перед каждым взятием смыва фламбировали при помощи портативной газовой горелки. Взятие смывов осуществляли при помощи стерильного зонда-тампона на основе полипропилена и хлопка с 1 %-ой пептонной водой 5 мл. Смыв брали в четырех разных направлениях, затем помещали в пробирку с транспортной средой. До лаборатории доставляли смывы в холодильнике.

Смывы с поверхностей производственного оборудования и помещений брали после мойки, до проведения дезинфекции с целью проведения фоновой оценки микробной обсемененности и установления видового состава санитарно-показательных микроорганизмов.

В лаборатории ФГБОУ ВО РГАТУ осуществляли посев смывной жидкости на тест-пластины и последующую инкубацию. Тест-пластины с агаризованными средами, хранившиеся в холодильнике, доставали и выдерживали при комнатной температуре (20° С) в течение 30 минут.

Смывную жидкость предварительно разводили в соотношениях 1:100 для обеспечения лучшей воспроизводимости полученных результатов, с учетом предполагаемой низкой микробной обсемененности. Разводили смывную жидкость с помощью стерильной воды для инъекций.

Инкубацию экспресс-тестов для стимуляции роста бактерий проводили в термостате сушевоздушном ТСВЛ-80 в течение 24 часов при температуре 36° С.

Тест-подложки, предназначенные для оценки наличия на поверхности производственных помещений и оборудования грибов/дрожжей не требовали термостатирования. Инкубация осуществлялась в течение 72 часов при температуре 20° С.

Полученные данные по числу колоний переводили в показатель КОЕ/см². Видовой состав микрофлоры оценивали согласно методическим рекомендациям к тест-пластинам Петритест®.

Результаты исследований и их обсуждение

На современных предприятиях традиционно соблюдается принцип поточности технологических процессов. Пересечение путей движения сырья (в том числе сырых полуфабрикатов) и готовой продукции не допускается.

Как можно видеть на технологической схеме предприятия, присутствуют точки пересечения путей движения сырых полуфабрикатов и



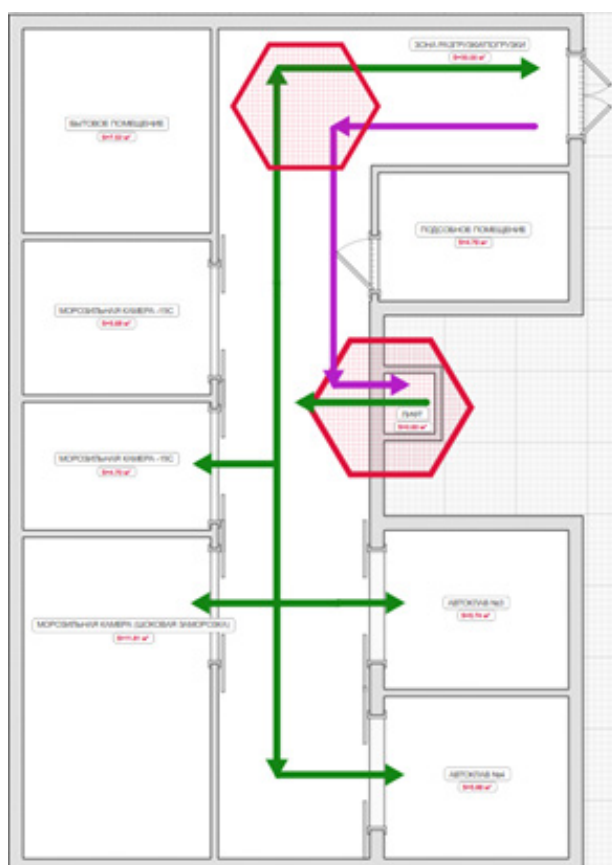
готовой продукции (рис. 2-А, обозначены красным пунктиром). Согласно требованиям п. 8.2.4 ИСО 22000-2019 предприятие при разработке программы обязательных предварительных мероприятий, направленных на обеспечение предотвращения и/или снижения попадания загрязнителей (в том числе представляющих угрозу для пищевой безопасности), должно учитывать и внедрять меры по предотвращению перекрестного загрязнения [ИСО 22000-2019]. В ООО «Дива» внедрена система временного разграничения технологических потоков перемещения продовольственного сырья и готовой продукции [6].

Анализ показал, что временные интервалы, организованные на предприятии, исключают поточное пересечение. Разгрузка транспорта с сырьем и передача сырья в камеру дефростации осуществляется в интервале 16-18 часов. С 18 до 20 часов проводится мойка производственных помещений, далее их профилактическая дезинфекция. Перемещение сырья из камеры дефростации в производственные цеха, далее в цех упаковки и на погрузку в транспорт осуществляется во временном интервале с 8 до 16 часов. Таким образом, подобная схема, при условии грамотного и своев-

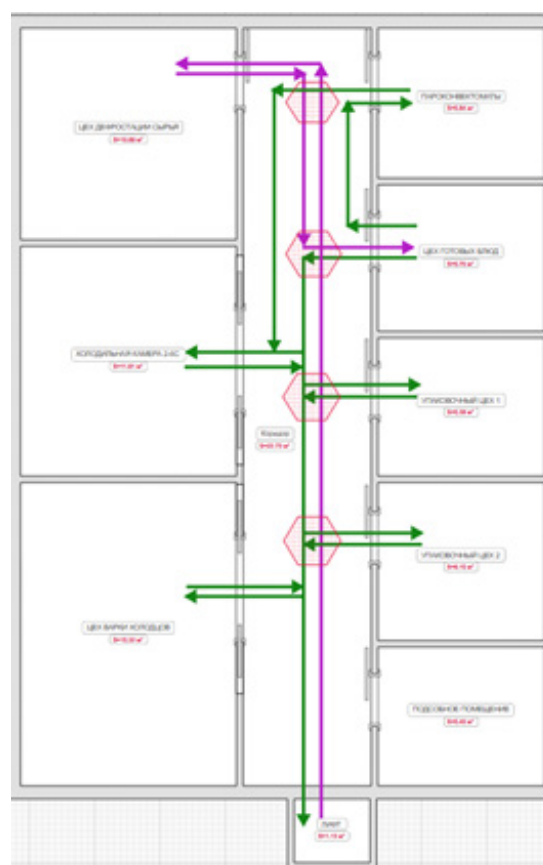
ременного проведения ветеринарно-санитарных и санитарно-гигиенических мероприятий, в целом соответствует требованиям по разграничению потоков сырья и готовой продукции и в полной мере может предотвратить перекрестное загрязнение пищевой продукции.

Как показали результаты оценки поточности технологического процесса, основные зоны риска микробной обсемененности мясного сырья, используемого для производства готовых мясных изделий, сосредоточены на втором этаже предприятия (рис. 2-Б). К таким зонам можно отнести зону дефростации мясного сырья и цех приготовления готовых блюд. В цехе дефростации мы выделили 2 критические точки, которые могут являться источником обсеменения сырья – стеллаж для дефростации и сливной трап. В цехе приготовления готовых блюд наиболее опасным потенциальным источником микробного обсеменения, на наш взгляд, является фаршемешалка и гастроемкость.

Все оборудование, используемое на производстве, изготовлено из пищевой нержавеющей стали, что обеспечивает простоту его мойки и дезинфекции.



a



6

Рис. 2 – Технологическая схема предприятия (А – 1 этаж; Б – 2 этаж).
Fig. 2 – Technological scheme of the enterprise (A – 1st floor; B – 2nd floor).

В дальнейшем наши исследования были направлены на оценку микробной обсемененности основных критических точек, установленных в

ходе аудита предприятия.

После отбора проб пробирки в штативе в изотермической сумке с холодоэлементами достави-

ли в лабораторию ветеринарного корпуса РГАТУ имени П.А. Костычева, где производили посев на питательные среды «ПЕТРИТЕСТ» (рис. 3).

Экспресс-тесты на пластиковых носителях «Петритест» (сухая среда) предназначены для быстрого определения бактерий при санитарно-бактериологических исследованиях продуктов питания, пищевого сырья, а также проведения первичной типизации и количественного подсчета жизнеспособных колониеобразующих единиц. Использование экспресс метода в работах по оценке качества профилактической дезинфекции удобно и оправдано с практической и экономической точки зрения.

Смывы с исследуемых поверхностей брали после мойки, до проведения дезинфекции.

Как показали результаты исследований, по показателю количества бактерий группы кишечной палочки наиболее высокие значения отмечены на поверхности сливного трапа. Количество выросших колоний можно интерпретировать как сплошной рост, и даже с учетом установленного нами в методике разведения (1:100) точный подсчет провести не удалось, однако общая тенденция не вызывает сомнений (табл. 1).

На поверхности стеллажа для дефростации

мяса также отмечено большое количество колоний (196 при прямом подсчете). Общее количество жизнеспособных, способных к образованию колоний бактерий группы кишечной палочки в смыве, при пересчете на классическую методику посева с использованием чашки Петри, составило $98 \cdot 10^3$ КОЕ/см². Количество БГКП на гастроемкости оказалось ниже, чем на стеллаже для дефростации мяса, в 3 раза ($25,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), а на фаршемешалке – в 20 раз ($4 \cdot 10^3$ КОЕ/см²).



Рис. 3 – Посев на питательные среды «Петритест®».

Fig. 3 – Sowing on PetriTest® nutrient media

Таблица 1 – Результаты термостатирования на колиформы, стафилококк и дрожжи

Оборудование			
	БГКП (колиформные бактерии, в т.ч. <i>Escherichia coli</i>), КОЕ/см ²	Стафилококк, КОЕ/см ²	Грибы/дрожжи, КОЕ/см ²
Гастроемкость	$25,5 \cdot 10^3$	$37 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^3$
Стеллаж для дефростации мясного сырья	$98 \cdot 10^3$	$69 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Фаршемешалка	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$16,5 \cdot 10^3$
Канализационный трап	Сплошной рост	$10 \cdot 10^3$	Сплошной рост

На стеллаже для дефростации мясного сырья также обнаружено сравнительно большее количество стафилококка – $69 \cdot 10^3$ КОЕ/см², чем на гастроемкости ($37 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), канализационном трапе ($10 \cdot 10^3$ КОЕ/см²) и фаршемешалке ($8 \cdot 10^3$ КОЕ/см²).

Посев на сухой питательной среде, адаптированной под колиформы (сухая хромогенная среда для обнаружения и индентификации колиформных (колиморфных) бактерий, в т.ч. *Escherichia coli* (БГКП) «Петритест®»), показал, что на гастроемкости и стеллаже отмечен рост колоний фиолетового цвета, что характерно для *Escherichia coli*. В смывах с фаршемешалки видимый рост отсутствовал, однако с учетом того, что на среде БГКП рост был, можно сделать вывод о том, что в смывах присутствует *Enterococcus faecalis*.

В смывах были также отмечены рост грибов и дрожжей (*Aspergillus niger*, *Candida albicans*) и дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*). Как и ранее, наиболее активный рост наблюдали в образцах с

канализационного трапа (сплошной рост). На поверхности фаршемешалки обнаружено $16,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см², на поверхности гастроемкости $9,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см², и меньше всего на стеллаже для дефростации мясного сырья – $3 \cdot 10^3$ КОЕ/см².

Заключение.

В ходе исследований установлено, что на предприятии установлено временное разграничение потоков технологических процессов, исключая возможность пересечения потоков сырья и готовой продукции, что профилирует их перекрестное обсеменение. Направление потоков сырья, готовой продукции и разграничивающая эти два процесса мойка и дезинфекция помещений и оборудования способны поддерживать надлежащее санитарное состояние производства пищевых продуктов из мясного сырья.

Проведенный нами микробиологический мониторинг рабочих зон, которые, по нашему мнению, являются основными зонами риска микробного обсеменения мясного сырья и/или готовой



мясной продукции, проведенный после технологической мойки до проведения ветеринарно-санитарных работ (дезинфекции), показал, что на сливном канализационном трапе, стеллаже для дефростации мяса, гастроемкости и фаршемешалке присутствуют бактерии группы кишечной палочки, стафилококки, а также микроскопические грибы (*Aspergillus niger*, *Candida albicans*) и дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*). В соответствии с требованиями п. 10.1.5 Порядка санитарно-микробиологического контроля при производстве мяса и мясных продуктов, утвержденного Приказом Департамента пищевой и перерабатывающей промышленности Минсельхозпрода РФ от 15.12.1995, в смывах с поверхности технологического оборудования, мелкого инвентаря не должно содержаться БГКП, бактерий рода *Сальмонелла*, бактерий рода *Протеус*. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов не должно превышать $1,0 \times 10^6$ КОЕ/см². Данный факт указывает на необходимость регулярного проведения дезинфекции производственных помещений и оборудования. Особое внимание следует уделять участку канализационного трапа, а также стеллажам для дефростации мясного сырья.

Список источников

1. Алиева В. М., Сайтханов Э. О., Кузьмин И. С. Сравнительная характеристика эффективности ветеринарно-санитарных мероприятий в условиях мясоперерабатывающего предприятия ООО «Диво» // Актуальные вопросы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии. – 2023. – С. 5-11.
2. ВСТП-6.02.92 Санитарные и ветеринарные требования к проектированию предприятий мясной промышленности. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030312>
3. Санитарные правила для предприятий мясной промышленности СП 3238 85. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/sanitarnye-pravila-dlja-predpriyatij-m/>
4. Сироткин И.В., Совершенствование санитарно-микробиологического контроля качества профилактической дезинфекции в цехе по переработке мяса : дис. ... канд. вет. наук : 06.02.05 / Сироткин Игорь Владимирович ; науч. рук. Н.А. Шурдуба ; ВНИИВСГЭ. – Москва, 2015. [Электронный ресурс]. – URL: <https://vniivsg.ru/wp-content/uploads/2014/03/%D0%A1%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F1.pdf?ysclid=m7rwfvlfa484594824>
5. Порядок санитарно-микробиологического контроля при производстве мяса и мясных продуктов // Приказ Департамента пищевой и перерабатывающей промышленности Минсельхозпрода РФ от 15.12.1995 [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/73211450/>
6. ГОСТ ИСО 2200-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции. — Введ. 2019-07-23.— М.: Стандартинформ, 2019.— 42 с.
7. Ефимочкина, Н. Р. Новые бактериальные патогены в пищевых продуктах: экспериментальное обоснование и разработка системы контроля с применением методов микробиологического и молекулярно-генетического анализа : специальность 14.02.01 "Гигиена" : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Ефимочкина Наталья Рамазановна. – Москва, 2010. – 349 с. – EDN QEYYVF.
8. Чугунова, Е. О. Санитарное качество мясопродуктов и мясоперерабатывающих предприятий в отношении бактерий рода *salmonella* / Е. О. Чугунова, Н. А. Татарникова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-12. – С. 2691-2694. – EDN TJILT.
9. Методы микробиологического экспресс-контроля объектов окружающей среды и пищевых продуктов с использованием продукции «Петритестм» // Методические рекомендации 4.2-022-2016 [Электронный ресурс]. – URL: <https://petritest.ru/images/doc/Metodicheskie%20ukazaniya%20Petritest.pdf>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Alieva V. M., Saitkhanov E. O., Kuz'min I. S. *Sravnitel'naya kharakteristika effektivnosti veterinarno-sanitarnykh meropriyatij v usloviyakh myasopererabatyvayushchego predpriyatiya* ООО «Диво» // *Aktual'nyye voprosy veterinarnoy meditsiny, zootekhnii i biotekhnologii*. – 2023. – S. 5-11.
2. VSTP-6.02.92 *Sanitarnyye i veterinarnyye trebovaniya k proyektirovaniyu predpriyatij myasnoy promyshlennosti*. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030312>
3. *Sanitarnyye pravila dlya predpriyatij myasnoy promyshlennosti* SP 3238 85. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/sanitarnye-pravila-dlja-predpriyatij-m/>
4. Sirotkin I.V., *Sovershenstvovaniye sanitarno-mikrobiologicheskogo kontrolya kachestva profilakticheskoy dezinfektsii v tseke po pererabotke myasa* : dis. ... kand. vet. nauk : 06.02.05 / Sirotkin Igor' Vladimirovich ; nauch. ruk. N.A. Shurduba ; VNIIVSGE. – Moskva, 2015. [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://vniivsg.ru/wp-content/uploads/2014/03/%D0%A1%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F1.pdf?ysclid=m7rwfvlfa484594824>
5. *Poryadok sanitarno-mikrobiologicheskogo kontrolya pri proizvodstve myasa i myasnykh produktov* //



Prikaz Departamenta pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Minsel'khozproda RF ot 15.12.1995 [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://base.garant.ru/73211450/>

6. GOST ISO 2200-2019. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Sistemy menedzhmenta bezopasnosti pishchevoy produktsii. Trebovaniya k organizatsiyam, uchastvuyushchim v tsepi sozdaniya pishchevoy produktsii. — Vved. 2019-07-23. — M.: Standartinform, 2019. — 42 s.

7. Yefimochkina, N. R. Novyye bakterial'nyye patogeny v pishchevykh produktakh: eksperimental'noye obosnovaniye i razrabotka sistemy kontrolya s primeneniye metodov mikrobiologicheskogo i molekulyarno-geneticheskogo analiza : spetsial'nost' 14.02.01 "Gigiyena" : dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora biologicheskikh nauk / Yefimochkina Natal'ya Ramazanovna. — Moskva, 2010. — 349 s. — EDN QEYYVF.

8. Chugunova, Ye. O. Sanitarnoye kachestvo myasoproduktov i myasopererabatyvayushchikh predpriyatiy v otnoshenii bakteriy roda salmonella / Ye. O. Chugunova, N. A. Tatarnikova // Fundamental'nyye issledovaniya. — 2014. — № 12-12. — S. 2691-2694. — EDN TJILT.

9. Metody mikrobiologicheskogo ekspress-kontrolya ob'yektov okruzhayushchey sredy i pishchevykh produktov s ispol'zovaniyem produktsii «Petritestm» // Metodicheskiye rekomendatsii 4.2-022-2016 [Elektronnyy resurs]. — URL: <https://petritest.ru/images/doc/Metodicheskie%20ukazaniya%20Petritest.pdf>

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

Алиева Виктория Мехмановна, аспирант кафедры ВСЭ, хирургии, акушерства и ВБЖ, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», v.dorogova@mail.ru

Сайтханов Эльман Олегович, канд. биол. наук, зав. кафедрой ВСЭ, хирургии, акушерства и ВБЖ, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», elmsaithanov@yandex.ru

Семенов Владимир Григорьевич, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры морфологии, акушерства и терапии, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», semenov_v.g@list.ru

Author Information

Alieva Victoria M., Postgraduate Student of the Department of VSE, Surgery, Obstetrics and VBZ, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, v.dorogova@mail.ru

Saithanov Elman O., Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of VSE, Surgery, Obstetrics and VBZ, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, elmsaithanov@yandex.ru

Semenov Vladimir G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvashia State Agrarian University, semenov_v.g@list.ru

Статья поступила в редакцию 04.02.2025; одобрена после рецензирования 03.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 04.02.2025; approved after reviewing 03.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 29-36
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp. 29-36

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.432.4
DOI 10.36508/RSATU.2025.38.85.005

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАННИХ БАКЛАЖАН В ТОННЕЛЬНЫХ УКРЫТИЯХ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Николай Николаевич Дубенок¹, Денис Андреевич Лебедев²✉

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г.о. Коломна, пос. Радужный, Россия

¹ ndubenok@rgau-msha.ru

² denislebedev992@gmail.com

Аннотация

Проблема и цель. Основная задача данного исследования заключается в совершенствовании агротехнических подходов к выращиванию баклажан с применением системы капельного полива и защитных тоннельных укрытий для получения раннего урожая.

Методология. В работе приведены данные экспериментов, направленных на анализ воздействия режимов полива и внесения удобрений на развитие и продуктивность баклажанов сорта «Черный опал». Работы проводились на территории южного Подмосковья с применением системы капельного полива и использованием защитных укрытий тоннельного типа.

Результаты. Эксперименты показали, что применение усовершенствованной агротехники с использованием капельного орошения и тоннельных укрытий на орошаемых почвах Московской области позволяет увеличить урожайность баклажан, достигая показателей до 40 т/га стандартной продукции. В ходе исследования были сформулированы методические указания и предложены технологические подходы для улучшения водного и минерального обеспечения баклажан. Эти решения учитывают ожидаемую урожайность на различных стадиях роста культуры, а также направлены на сокращение водопотребления. Приведенные в статье результаты показывают, что применение современных агротехнических методов, таких как капельное орошение и тоннельные укрытия, позволяет значительно повысить эффективность производства ранних овощей.

Заключение. Статистический анализ, проведенный в ходе экспериментов, подтвердил важность водного и минерального питания для повышения урожайности баклажан. Условия питания регулировались внесением минеральных удобрений и капельным поливом в соответствии с разработанной методикой в течение вегетационного периода. Также установлено, что комбинированное использование капельного орошения и тоннельных укрытий оказывает комплексное положительное влияние, выражающееся в повышении эффективности использования воды, улучшении микроклимата для растений и ускорении сроков созревания.

Ключевые слова: баклажан, капельное орошение, тоннельные укрытия, предполивная влажность, межфазный период, технология возделывания, доза удобрений, урожайность

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Лебедев Д.А. Совершенствование агротехнологических приемов для выращивания ранних баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении в условиях центрального нечерноземья // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.21-36 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>

Original article

IMPROVING AGROTECHNOLOGICAL METHODS FOR GROWING EARLY EGGPLANTS IN TUNNEL SHELTERS UNDER DRIP IRRIGATION IN CONDITIONS OF CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

Nikolai N. Dubenok¹, Denis A. Lebedev²✉

¹ Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia



^{1,2} All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems "Raduga"
Kolomna, village Raduzhny, Russia

¹ ndubenok@rgau-msha.ru

² denislebedev992@gmail.com

Abstract

Problem and purpose. The purpose of this study is to improve agricultural practices for growing eggplants using drip irrigation and tunnel shelters to obtain an early harvest of fruits that meet quality standards.

Methodology. The article presents data from experimental studies aimed at analyzing the impact of water and mineral nutrition on the development and productivity of the Black Opal eggplant variety. The experiments were carried out in the southern part of the Moscow Region using drip irrigation and tunnel shelters.

Results. The experiments showed that the use of improved agricultural practices using drip irrigation and tunnel shelters on irrigated soils in the Moscow Region can increase eggplant yields by more than two times, reaching up to 40 t/ha of standard produce. As part of the study, methodological recommendations were developed and technological solutions were proposed to optimize water and mineral nutrition of eggplants, taking into account the predicted yield at different stages of plant development, as well as to reduce water consumption. The results presented in the article show that the use of modern agrotechnical methods, such as drip irrigation and tunnel shelters, can significantly increase the efficiency of early vegetable production.

Conclusion. The statistical analysis conducted during the experiments confirmed the importance of water and mineral nutrition for increasing the yield of eggplants. Nutrition conditions were regulated by the application of mineral fertilizers and drip irrigation in accordance with the developed methodology during the growing season. It was also found that the combined use of drip irrigation and tunnel shelters has a complex positive effect, expressed in increased water use efficiency, improved microclimate for plants and accelerated ripening.

Key words: eggplant, drip irrigation, tunnel shelters, pre-irrigation moisture, interphase period, cultivation technology, fertilizer dose, yield

For citation: Dubenok N.N., Lebedev D.A. Improving agrotechnological methods for growing early eggplants in tunnel shelters under drip irrigation in conditions of central non-chernozem region // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P.21-36 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.38.85.005>

Введение

Укрепление продовольственной безопасности России является одной из ключевых задач для сельскохозяйственного сектора. Основное внимание уделяется замещению импортной продукции на внутреннем рынке и увеличению самообеспеченности страны основными видами пищевых продуктов. Одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства является овощеводство, которое для повышения урожайности требует внедрения инновационных технологий выращивания культур [8, 9, 11, 13].

Среди факторов, сдерживающих поступление ранней овощной продукции на рынок Центрального региона, в частности, Московской области, значительную роль играют весенние возвратные холода. Поздняя высадка баклажан, вызванная неблагоприятными климатическими условиями, часто приводит к потере части урожая из-за первых осенних заморозков. Это, в свою очередь, негативно влияет на себестоимость продукции.

Климат Московской области отличается повышенной влажностью, что создает необходимость в мелиоративных работах для осушения переувлажненных и заболоченных участков. Однако во время вегетационного сезона нередко возникают засушливые интервалы, сопровождающиеся значительным недостатком почвенной влаги. В такие периоды культурам требуется дополнительное орошение для поддержания благоприятных условий развития и получения максимальной урожайности [7].

Капельное орошение является одним из ключевых методов, направленных на повышение продуктивности баклажан. Этот способ позволяет доставлять воду непосредственно в корневую зону растений. Использование капельного орошения в сочетании с временными тоннельными укрытиями способствует получению урожая в более ранние сроки, когда рыночные цены на продукцию наиболее высоки. Это делает дополнительные затраты на производство экономически оправданными за счет увеличения чистой прибыли.

Отсутствие четких рекомендаций по улучшению водного и минерального питания при культивировании баклажан в условиях Московской области с применением системы капельного полива послужило основанием для проведения научных изысканий. В связи с этим было начато изучение влияния различных режимов капельного орошения и дозирования минеральных удобрений на рост и продуктивность растений [17].

Значимость и своевременность проводимых теоретических и практических исследований была продиктована нижеуказанными факторами:

- исследование технологии выращивания баклажан в условиях юга Московской области является важным и перспективным направлением вследствие высокой обеспеченности рассматриваемого региона влагой и теплом. Периодическую нехватку осадков, возникающую в особо засушливые месяцы, позволяет возместить использование капельного орошения;
- выращивание данной культуры в централь-



ном регионе экономически оправданно при условии снижения и оптимизации производственных затрат;

– высокий потребительский спрос на культуру в Московской области, что обусловлено популярностью этого овоща среди местного населения, его широким использованием в кулинарии, а также растущим интересом к здоровому питанию.

Материалы и методы исследования

В Коломенском районе Московской области преобладают дерново-среднеподзолистые почвы среднесуглинистого механического состава. Практические исследования проводились с 2022 по 2024 годы на орошаемом участке на территории

ООО «Сергиевское». Агрофизические и водно-физические параметры почвы устанавливались расчетным методом. Для контроля за динамикой влажности почвы применялся тензиометр, а также почвенные влагомеры, расставленные равномерно вдоль капельных линий [18].

Для проведения эксперимента был выбран сорт баклажана «Черный опал», который широко распространен в Московской области. Исследование носило двухфакторный характер, что позволило изучить влияние различных факторов на рост и урожайность культуры.

Монтаж системы капельного орошения и подготовка к посадке выполнялись в апреле-мае.

Таблица 1 – Основные агрохимические показатели плодородия почвы опытного участка (среднее за 2022-2024 гг.)

Горизонт	Глубина	Глубина отбора образцов	Потеря при прокаливании %	Гумус, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
	см						
A1	0-14	0-10	3,3	1,9	0,11	2,36	1,17
A2	14-35	29-35	1,6	0,4	0,10	2,32	1,31
A2B	35-50	35-45	3,1	0,5	0,09	2,55	1,21
B1	50-85	70-80	3,0	0,5	0,09	2,42	1,24

В рамках данного исследования для повышения урожайности баклажан в ранние сроки была предложена гипотеза, учитывающая биологические особенности культуры и ее реакцию на внешние условия. Основное внимание уделялось изучению воздействия исследуемых агротехнических приемов на процесс вегетации и продуктивность рассматриваемой культуры [12].

Проведение поливов на опытном участке проводилось при достижении почвой установленных показателей влажности, что позволило сформировать специфические режимы орошения для каж-

дого экспериментального варианта. Выбор уровня предполивной влажности почвы напрямую влияет на частоту и объем поливов, что необходимо учитывать для оптимизации водопользования и повышения эффективности выращивания баклажанов.

В рамках исследования были рассмотрены два ключевых аспекта: воздействие уровня увлажненности почвы (фактор А) и режима внесения минеральных удобрений (фактор В).

Опытный участок был организован в соответствии с методическими требованиями, учитывающими почвенно-климатические и агротехнические

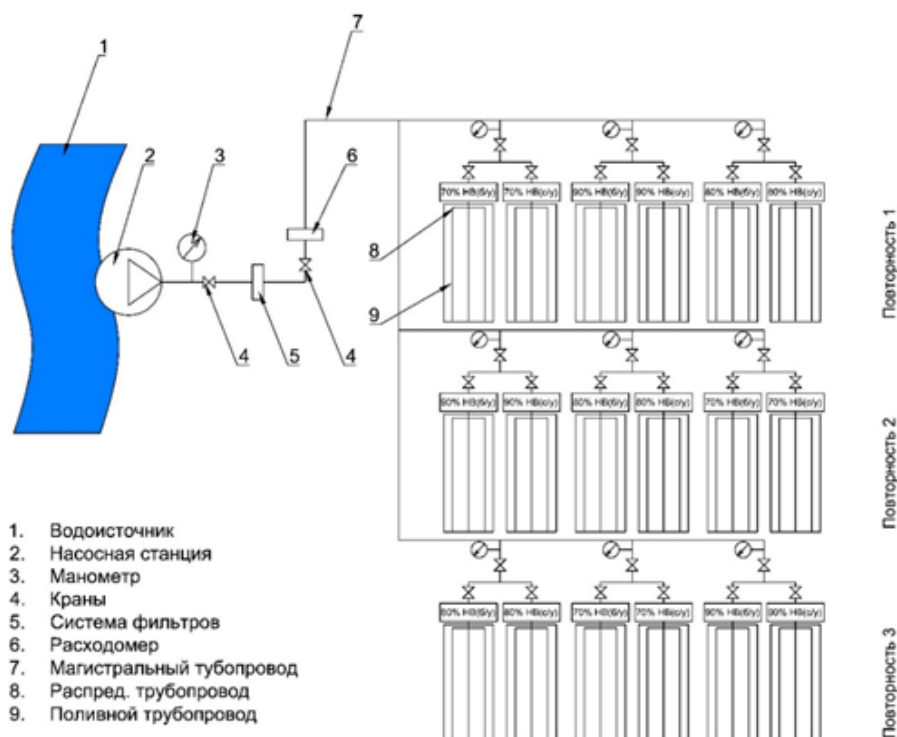


Рис. 1 – Схема полевого опыта
Fig. 1 – Field experiment scheme

условия Московской области. Все условия, кроме исследуемых факторов, были унифицированы [4].

Технология выращивания баклажан, за исключением исследуемых методов, соответствовала стандартным требованиям, принятым в данном регионе. Рассадку переносили в открытый грунт в возрасте 55-60 суток, обычно в первой или второй половине мая. Наблюдения и измерения осуществлялись в соответствии с общепринятыми методиками, используемыми в овощеводстве, с применением тензиометров для отслеживания уровня влажности почвы.

Была выбрана схема посадки, минимизирующая затраты на укрытие баклажан и обеспечивающая наиболее благоприятные условия для ухода за растениями [1, 16]. Посадка проводилась вручную в три строчки, между растениями было предусмотрено расстояние по 40 см. Между капельными линиями было установлено расстояние в 60 см.

Каркас укрытий изготавливался из проволоки

толщиной 8 мм, а в качестве укрывного материала использовался спанбонд плотностью 30 г/м². Дуги устанавливались с интервалом 1,5-2,0 м, что обеспечивало устойчивость конструкции и оптимальные условия для роста растений. Параметры переносных тоннельных укрытий: высота – 1,4 м; ширина – 1,8 м; длина 6 м [2, 6].

Результаты исследований и их обсуждение

Контрольный вариант по исследованию водного режима (А1) заключался в поддержании значения предполивной влажности почвы на уровне 70 % НВ. В промежутке развития культуры от посадки саженцев до цветения указанный уровень наименьшей влагоемкости обеспечивался в промачиваемом горизонте мощностью 0,4 м. С целью соблюдения данного показателя посредством расчетов была установлена поливная норма в 90 м³/га. С момента наступления цветения и до заключительного получения урожая в промачиваемом горизонте мощностью 0,6 м полив осуществлялся нормой в 160 м³/га.

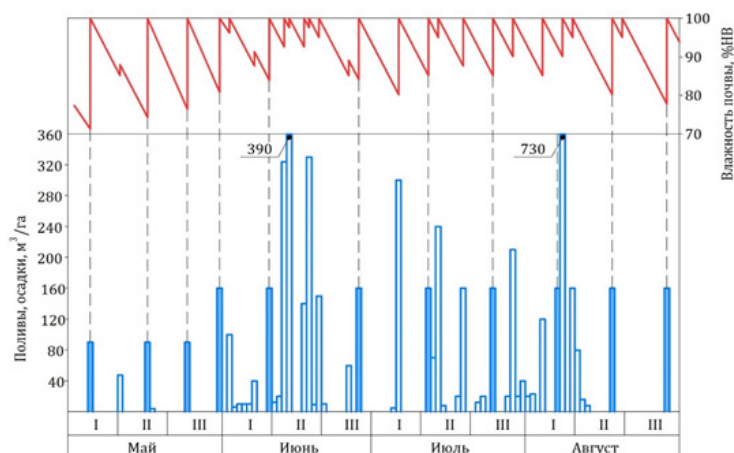


Рис. 2 – Водный режим почвы (рассадные баклажаны, 2024 год, 70 % НВ)
Fig. 2 – Soil water regime (eggplants, 2024, 70 % НВ)

Для обеспечения оптимальной влажности грунта (70 % НВ) в течение всего периода роста баклажан проводилось не более 10-12 поливов с установленным объемом воды.

Второй вариант эксперимента (А2) предполагал поддержание предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ. В соответствии с проведенными расчетами, в промачиваемом горизонте мощностью 0,4 м в начале вегетации (с

момента посадки саженцев и до формирования первых завязей) полив осуществлялся нормой в 70 м³/га. Для поддержания требуемого значения предполивной влажности в почвенном горизонте мощностью 0,6 м была определена поливная норма в 110 м³/га. В случае поддержания уровня влажности 80 % НВ в течение вегетационного периода, количество поливов увеличивалось до 11-16.

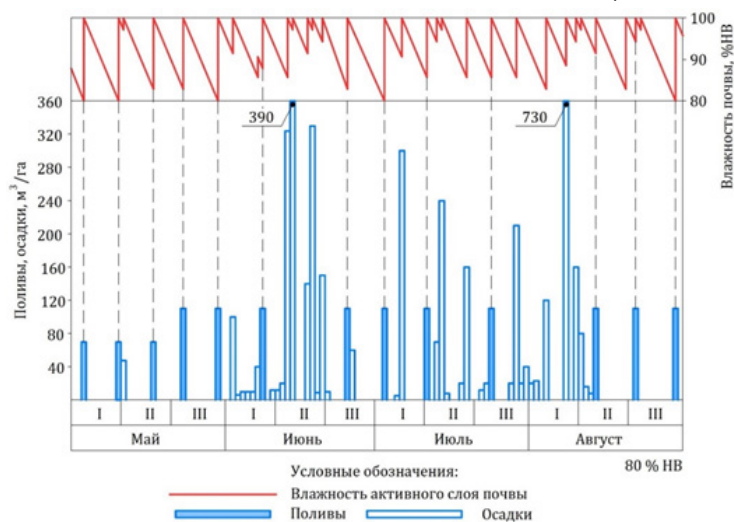


Рис. 3 – Водный режим почвы (рассадные баклажаны, 2024 год, 80 % НВ)
Fig. 3 – Soil water regime (eggplants, 2024, 80 % НВ)



Обеспечение предполивной влажности почвы на уровне 90 % НВ было определено в качестве третьего варианта (А3) по исследуемому показателю. На этапе развития баклажанов от высадки рассады до начала цветения в увлажняемом слое почвы толщиной 0,4 м необходимый уровень наименьшей влагоёмкости поддерживался с помощью поливной нормы 40 м³/га. Для сохранения этого параметра в период от цветения до окончательного сбора урожая в увлажняемом слое толщиной 0,6 м норма полива увеличивалась до 70 м³/га.

Внесение минеральных удобрений является значительным и ключевым агрохимическим методом повышения урожайности выращиваемой культуры. При поддержании порога в 90 % НВ необходимость в поливах возрастала до 20-27, что сопровождалось снижением нормы полива [9, 13, 14, 17].

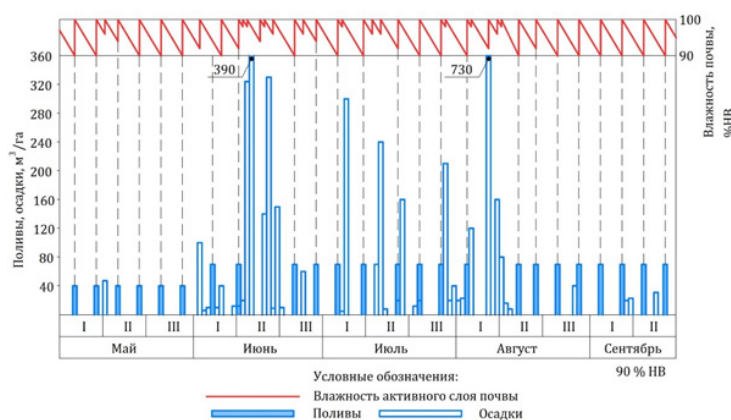


Рис. 4 – Водный режим почвы (рассадные баклажаны, 2024 год, 90% НВ)

Fig. 4 – Soil water regime (eggplants, 2024, 90% HB)

Полевые эксперименты показали, что урожайность баклажанов варьировалась от 23,8 до 39,7 т/га в 2022 году и увеличилась до 27,5-43,9 т/га к 2024 году. В группах, где применялись удобрения в дозировке N₁₄₀P₇₀K₅₀ и поддерживался режим полива, обеспечивающий предполивную влажность почвы на уровне 70 % НВ, средняя урожайность в 2022 году составила 31,1 т/га, в 2023 году возросла до 32,4 т/га, а в 2024 году достигла 34,4 т/га. Разница между минимальными и максимальными значениями урожайности составила 3,3 тонны с гектара. Исследования показали, что с ростом урожайности

баклажанов влияние климатических условий становится более выраженным. При поддержании допустимого снижения влажности почвы до 80 % НВ и внесении удобрений в дозах N₁₄₀P₇₀K₅₀, в 2022 году было собрано 38,2 тонны качественных плодов с гектара, в 2023 году урожайность достигла 39,5 т/га, а в 2024 году – 41,5 т/га. Разница в показателях составила 3,3 т/га. Максимальные результаты были отмечены при поддержании влажности почвы на уровне 90 % НВ и внесении удобрений в дозе N₁₄₀P₇₀K₅₀. Это обеспечило получение 41,2 т/га качественных плодов в 2022 году, 43,0 т/га в 2023 году и 44,3 т/га в 2024 году [17].

Таблица 2 – Урожайность баклажанов в зависимости от установленного нижнего предела влажности почвы и объема вносимых минеральных удобрений (средняя за 2022-2024 годы)

Нижний порог влажности	Норма удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка от увеличения нижнего порога влажности почвы		Прибавка от удобрений	
			т/га	%	т/га	%
70 (контроль)	без удобрений (контроль)	25,6	-	-	-	-
	N ₁₄₀ P ₇₀ K ₅₀	32,6	-	-	7	27,3
80	без удобрений (контроль)	30	4,4	17,2	-	-
	N ₁₄₀ P ₇₀ K ₅₀	39,7	7,1	21,8	9,7	32,3
90	без удобрений (контроль)	36,3	10,7	41,8	-	-
	N ₁₄₀ P ₇₀ K ₅₀	42,8	10,2	31,2	6,5	17,9
НСР ₀₅ , т/га	Фактор А (водный режим)	2,5				
	Фактор В (минеральные удобрения)	3,2				



В ходе экспериментов удалось добиться урожайности баклажанов на уровне 40 тонн с гектара. Это стало возможным благодаря внесению удобрений в пропорции $N_{140}P_{70}K_{50}$ и обеспечению поливов, которые поддерживали влажность грунта перед орошением на отметке 80-90 % от наименьшей влагоемкости (НВ). На тех участках, где влажность активного слоя почвы перед поливом сохранялась на уровне 70 % НВ при аналогичном количестве удобрений средний показатель урожайности за время исследований составил 32,6 тонны с гектара.

Влияние водного режима на урожайность баклажан выражалось в росте показателей на 17,2-41,8 %. В сравнении с контрольными показателями поддержание влажности активного слоя почвы перед поливом на уровне 80 % НВ привело к увеличению урожайности на 4,4 тонны с гектара без применения удобрений и на 7,1 тонны с гектара при использовании подкормки в дозировке $N_{140}P_{70}K_{50}$. Если же влажность грунта перед орошением сохранялась на уровне 90 % НВ и выше, прирост урожайности составлял 10,2-10,7 тонны с гектара, что эквивалентно 31,2-41,8 % от контрольных данных.

Заключение

При проведении поливов в вегетационный период с поддержанием предполивной влажности активного слоя на уровне не менее 70 % НВ и внесении удобрений $N_{140}P_{70}K_{50}$ урожайность возросла на 27,3 %. При этом поддержание предполивной влажности почвы в диапазоне 80-90 % НВ существенно усиливало положительное влияние повышенного минерального питания [17].

Запланированные показатели урожайности были достигнуты благодаря поддержанию уровня влажности почвы перед поливом не менее 80 % от нормы влагоемкости (НВ), а также внесению минеральных удобрений в объеме $N_{140}P_{70}K_{50}$. Увеличение урожайности баклажанов при повышении доз минеральных удобрений было статистически значимым во все годы проведения исследований.

Были установлены оптимальные условия, способствующие максимальной продуктивности и полной реализации биологических возможностей культуры. Полученные данные формируют базу для комплексного управления процессом выращивания баклажанов в условиях южной части Московской области, а также для рационального использования ресурсов в производственных масштабах.

Список источников

1. Авдеев Ю.И. Опыт производства баклажан / Ю.И. Авдеев, В.Н. Астафуров // Картофель и овощи. - 1988. - № 5. - С. 28-29.
2. Бородычев В.В., Глушихина Е.С., Шенцева Е.В., Гуренко В.М. Затраты на выращивание перца и баклажана в тоннелях при капельном орошении окупаются за год // Картофель и овощи. - 2010. - № 2. - С. 13 - 14.
3. Бородычев В.В., Лукьяненко Е.А. Водный режим и питание баклажан при капельном орошении. - Картофель и овощи. - 2007. - № 6. - С. 19-20.

4. Ванеян С.С. Технологические основы повышения эффективности орошения и гидроподкормки овощных и бахчевых культур в различных почвенно-климатических зонах России. - М.: РАСХН, ВНИИО, 1997. - 58 с.

5. ГОСТ Р 58331.3-2019 Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.

6. Губер, К. В. Выращивание ранних баклажан с использованием тоннельных укрытий / К. В. Губер, Е. В. Шенцева, Ю. Д. Губаюк // Мелиорация и водное хозяйство. - 2011. - № 1. - С. 36-39.

7. Данильченко Н.В. Методические указания по расчету водопотребления и оросительных нормам с.-х. культур в Нечерноземной зоне РСФСР. Коломна, 1981.

8. Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Белик О.А. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур. - Достижения науки и техники АПК. - 2009, № 4. - 22-25.

9. Дубенок Н.Н., Шенцева Е.В. К вопросу совершенствования технологии возделывания ранних баклажан. - Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сб. научн. тр./ФГБОУ ВПО РГАТУ; под ред. Н.В. Бышова. - Рязань, 2011. - С. 102-112.

10. Дубенок, Н. Н. Ресурсосберегающие технологии возделывания баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении для получения ранней продукции в условиях Юга Московской области / Н. Н. Дубенок, Д. А. Лебедев // МЕЛИОРАЦИЯ БУДУЩЕГО: тренды, инновации и технологии в сельском хозяйстве : материалы Международного Форума молодых ученых, посвященного 100-летию образования ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва, 28-29 марта 2024 года. - Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, 2024. - С. 137-142.

11. Кизяев Б. М., Бородычев В. В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении // Плодородие. 2016. №5 (92).

12. Кружилин А.С., Шведская З.И. Помидоры, перец, баклажан. Биология и агротехника. -М.: Россельхозиздат, 1972.- 144 с.

13. Лебедев, Д. А. Ресурсосберегающие технологии возделывания баклажан в тоннельных укрытиях при капельном орошении для получения ранней продукции в условиях Юга Московской области / Д. А. Лебедев // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : Сборник статей, Москва, 03-05 июня 2024 года. - Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. - С. 184-189. - EDN AFJKRA.

14. Лебедев, Д. А. Совершенствование агро-



техники выращивания перца при капельном орошении в условиях Юга Московской области / Д. А. Лебедев, В. С. Травкин // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 90-93. – EDN UQOMYV.

15. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник под ред. Шумакова Б. Б. - М.: Колос, 1999. - 432 с.

16. Методика полевого опыта в овощеводстве. - ВНИИ овощеводства, 2011.-648 с.

17. Шенцева, Екатерина Викторовна. Совершенствование агротехники выращивания баклажан при капельном орошении с использованием тоннельных укрытий для получения ранней продукции : диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук : 06.01.01, 06.01.02 / Шенцева Екатерина Викторовна; [Место защиты: Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н.И. Вавилова]. - Волгоград, 2012.- 211 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-6/452.

18. Шабанова М.Ш., Магомедова Д.С., Курбанов С.А. Баклажан: совершенствование технологических приемов // Картофель и овощи. 2021. №6. С. 26-28.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Avdeyev YU.I. Opyt proizvodstva baklazhan / YU.I. Avdeyev, V.N. Astafurov // *Kartofel' i ovoshchi*. - 1988. - № 5. - С. 28-29.
2. Borodychov V.V., Glushikhina Ye.S., Shentseva Ye.V., Gurenko V.M. Zatraty na vyrashchivaniye pertsy i baklazhana v tonnelyakh pri kapel'nom oroshenii okupayutsya za god // *Kartofel' i ovoshchi*. - 2010. - № 2. - С. 13 - 14.
3. Borodychev V.V., Luk'yanenko Ye.A. Vodnyy rezhim i pitaniye baklazhan pri kapel'nom oroshenii. - *Kartofel' i ovoshchi*. - 2007. - № 6. - С. 19-20.
4. Vaneyan S.S. Tekhnologicheskiye osnovy povysheniya effektivnosti orosheniya i gidropodkormki ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur v razlichnykh pochvenno-klimaticheskikh zonakh Rossii. - М.: RASKHN, VNIIO, 1997. - 58 s.
5. GOST R 58331.3-2019 Sistemy i sooruzheniya meliorativnyye. Vodopotrebnost' dlya orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Obshchiye trebovaniya. Ofitsial'noye izdaniye. М.: Standartinform, 2019 god.
6. Guber, K. V. Vyrashchivaniye rannikh baklazhan s ispol'zovaniyem tonnel'nykh ukrytiy / K. V. Guber, Ye. V. Shentseva, YU. D. Gubayuk // *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*. - 2011. - № 1. - С. 36-39.
7. Danil'chenko N.V. Metodicheskiye ukazaniya po raschetu vodopotrebleniya i orositel'nykh normakh s.-kh. kul'tur v Nechernozemnoy zone RSFSR. Kolomna, 1981.
8. Dubenok H.H., Borodychev V.V., Lytov M.N., Belik O.A. Osobennosti vodnogo rezhima pochvy pri kapel'nom oroshenii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. - *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. - 2009, № 4. - 22-25.
9. Dubenok H.H., Shentseva Ye.V. K voprosu sovershenstvovaniya tekhnologii vzdelyvaniya rannikh baklazhan. - *Sovremennyye energo- i resurso-sberegayushchiye, ekologicheski ustoychivyye tekhnologii i sistemy sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: sb.nauchn. tr./FGBOU VPO RGATU; pod red. N.V. Byshova*. - Ryazan', 2011. - С. 102-112.
10. Dubenok, N. N. Resursosberegayushchiye tekhnologii vzdelyvaniya baklazhan v tonnel'nykh ukrytiyakh pri kapel'nom oroshenii dlya polucheniya ranney produktsii v usloviyakh Yuga Moskovskoy oblasti / N. N. Dubenok, D. A. Lebedev // *MELIORATSIYA BUDUSHCHEGO: trendy, innovatsii i tekhnologii v sel'skom khozyaystve : materialy Mezhdunarodnogo Forumy molodykh uchenykh, posvyashchennogo 100-letiyu obrazovaniya VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, Moskva, 28–29 marta 2024 goda*. – Moskva: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii im. A.N. Kostyakova, 2024. – С. 137-142.
11. Kizyayev B. M., Borodychev V. V. Effektivnost' mineral'nogo pitaniya ovoshchnykh kul'tur pri kapel'nom oroshenii // *Plodorodiye*. 2016. №5 (92).
12. Kruzhilin A.C., Shvedskaya Z.I. Pomidory, perets, baklazhan. *Biologiya i agrotehnika*. -М.: Rossel'khozizdat, 1972.- 144 s.
13. Lebedev, D. A. Resursosberegayushchiye tekhnologii vzdelyvaniya baklazhan v tonnel'nykh ukrytiyakh pri kapel'nom oroshenii dlya polucheniya ranney produktsii v usloviyakh Yuga Moskovskoy oblasti / D. A. Lebedev // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchonykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya A.YA. Milovicha : Sbornik statey, Moskva, 03–05 iyunya 2024 goda*. – Moskva: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet – MSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2024. – С. 184-189. – EDN AFJKRA.
14. Lebedev, D. A. Sovershenstvovaniye agrotekhniki vyrashchivaniya pertsy pri kapel'nom oroshenii v usloviyakh Yuga Moskovskoy oblasti / D. A. Lebedev, V. S. Travkin // *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchonykh i spetsialistov, posvyashchennaya 180-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva : Sbornik statey, Moskva, 05–07 iyunya 2023 goda*. – Moskva: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2023. – С. 90-93. – EDN UQOMYV.



15. Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. Orosheniye: Spravochnik pod red. Shumakova B. B. - M.: Kolos, 1999. - 432 s.

16. Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve. - VNII ovoshchevodstva, 2011. - 648 s.

17. Shentseva, Yekaterina Viktorovna. Sovershenstvovaniye agrotekhniki vyrashchivaniya baklazhan pri kapel'nom orosheii s ispol'zovaniyem tonnel'nykh ukrytiy dlya polucheniya ranney produktsii : dissertatsiya ... kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk : 06.01.01, 06.01.02 / Shentseva Yekaterina Viktorovna; [Mesto zashchity: Sarat. gos. agrar. un-t im. N.I. Vavilova]. - Volgograd, 2012. - 211 s.: il. RGB OD, 61 12-6/452.

18. Shabanova M.SH., Magomedova D.S., Kurbanov S.A. Baklazhan: sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh priyemov // Kartofel' i ovoshchi. 2021. №6. S. 26-28.

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

Дубенок Николай Николаевич, академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», профессор, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, зав. кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, ndubenok@rgau-msha.ru

Лебедев Денис Андреевич, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», аспирант ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, denislebedev992@gmail.com

Author Information

Dubenok Nikolay N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Professor, Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov, Department of Agricultural Land Reclamation, Head of Department, ndubenok@rgau-msha.ru

Lebedev Denis A., Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", Postgraduate Student of the Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, denislebedev992@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 12.03.2025





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 37-45
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.37-45

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.11"321"-021.465
DOI: 10.36508/RSATU.2025.96.70.006

ДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ ПОСЕВОВ ЖИДКИМИ КОМПЛЕКСНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ И РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

**Чулпан Марсовна Исламова¹✉, Вера Николаевна Гореева², Елена Витальевна Корепанова³,
Гульзира Рамазановна Медведева⁴, Ильдус Шамилович Фатыхов⁵**

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», г. Ижевск, Россия

¹ Chulpanislamova_85@mail.ru

² goreeva_v_n@mail.ru

³ k_evital@mail.ru

⁴ gulzira.galieva@gmail.ru

⁵ fatykhovildus@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Повышение качества зерна в современных условиях является важной проблемой сельскохозяйственного производства. Выращивание высококачественного зерна является одним из залогов улучшения экономических показателей и конкурентного потенциала хозяйства. Основными путями поиска стабильного производства являются создание сортов, способных формировать зерно с соответствующими параметрами качества, почвенно-климатические условия и адаптивные агротехнические технологии возделывания. Одним из приоритетных направлений является некорневая подкормка растений жидкими комплексными минеральными удобрениями и опрыскивание регуляторами роста. Цель исследований – разработка агроприема, позволяющего путем некорневой подкормки жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста получить высокую урожайность с хорошим качеством зерна.

Методология. В статье рассматриваются результаты трехлетнего полевого опыта (2022–2024 гг.), проведенного на опытном поле УНПК «Агротехнопарк» Удмуртского ГАУ. Опыт предусматривает изучение влияния опрыскивания посевов жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста на урожайность и качество зерна. Технологические качества зерна определялись по общепринятым методикам. Опыты проводились на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах. Годы проведения исследований охватывали разнообразие метеорологических условий: 2022 г. характеризовался как недостаточно влажный (ГТК=0,84), 2023 г. – сильно засушливый (ГТК=0,43) и 2024 г. – достаточно влажный (ГТК=1,78).

Результаты. Установлено, что при некорневой обработке удобрениями AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМг и регулятором роста Рэзги формируется относительно высокая урожайность зерна яровой пшеницы – 2,85-2,93 т/га, с преимуществом на 0,23-0,31 т/га или 9-12 % относительно урожайности зерна в варианте без обработки. Наибольшая стекловидность зерна яровой пшеницы Иолдыз – 66 % была сформирована при опрыскивании посевов AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМг, КомплеМет Зерно Импульс; натура зерна 766-768 г/л – при использовании AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМг и Рэзги. При более засушливых условиях в период колошение–полная спелость зерна с ГТК от 0,02 до 0,03 яровая пшеница способна формировать относительно высокое содержание белка – 14,1 % и 33,9 % сырой клейковины. Существенно большим преимуществом, по накоплению в урожае белка и клейковины, выделились варианты использования для опрыскивания AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМг, КомплеМет Зерно Импульс и Рэзги.

Заключение. Использование для некорневой подкормки комплексных удобрений AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМг и опрыскивания растений регулятором роста Рэзги в фазе начала выхода в трубку позволило достичь в условиях Среднего Предуралья прибавки урожайности зерна яровой пшеницы Иолдыз и повышения его качественных показателей.

Ключевые слова: яровая пшеница, урожайность зерна, регулятор роста, жидкие комплексные удобрения, качество зерна

Для цитирования: Исламова Ч. М., Гореева В.Н., Корепанова Е.В., Медведева Г. Р., Фатыхов И. Ш. Действие обработки посевов жидкими комплексными удобрениями и регуляторами роста на качество зерна яровой пшеницы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.37-45 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.70.006>



EFFECT OF TREATMENT OF CROPS WITH LIQUID COMPLEX FERTILIZERS AND GROWTH REGULATORS ON THE QUALITY OF SPRING WHEAT GRAIN

Chulpan M. Islamov^{a1}✉, Vera N. Goreeva², Elena V. Korepanova³, Gulzira R. Medvedeva⁴, Ildus Sh. Fatykhov⁵

^{1,2,3,4,5} Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

¹ Chulpanislamova_85@mail.ru

² goreeva_v_n@mail.ru

³ k_evital@mail.ru

⁴ gulzira.galieva@gmail.ru

⁵ fatykhovildus@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. Improving grain quality in modern conditions is an important problem of agricultural production. Growing high-quality grain is one of the keys to improving economic performance and the competitive potential of the farm. The main ways to find stable production are to create varieties capable of forming grain with appropriate quality parameters, soil and climatic conditions, and adaptive agrotechnical methods of cultivation technology. One of the priority areas is the foliar top dressing of plants with liquid complex mineral fertilizers and growth regulators. The purpose of the research is to develop an agricultural approach by non-root fertilization with liquid mineral fertilizers and growth regulators, which allows to obtain high yields with good grain quality.

Methodology. The article examines the results of a three-year field experiment (2022–2024) conducted at the experimental field of the UNPC Agrotechnopark of the Udmurt State Agrarian University. The experiment involves studying the effect of spraying crops with liquid mineral fertilizers and growth regulators on grain yield and quality. The technological qualities of the grain were determined according to generally accepted methods. The experiments were carried out on sod-podzolic medium loamy soils. The years of research have covered a variety of meteorological conditions. 2022 was characterized as insufficiently humid (GTK=0.84), 2023 as severely arid (GTK=0.43) and 2024 as sufficiently humid (GTK=1.78).

Results. It was found that non-root treatment with AGREE'S Forsage fertilizers, PKMg Complement and Reggae growth regulator results in a relatively high yield of spring wheat grain of 2.85–2.93 t/ha, with an advantage of 0.23–0.31 t/ha or 9–12% relative to grain yield in the untreated variant. The highest glassy grain content of 66% Yoldyz spring wheat was formed by spraying AGREE'S Afterburner, PKMg Complement, Grain Impulse Complement and grain Nature 766–768 g/l using AGREE'S Afterburner, PKMg Complement and Reggae. Under drier conditions, during the earing period, the grain with a GTC of 0.02 to 0.03 is fully ripe, spring wheat is able to form a relatively high content of 14.1% protein and 33.9% crude gluten. With a significant advantage in the accumulation of protein and gluten in the crop, the use cases for AGREE'S Fast and Furious, PKMg's Complement, Grain Impulse and Reggae's Complement stood out.

Conclusion. The use of AGREE'S Fast and Furious complex fertilizers, PKMg Complement, and spraying plants with Reggae growth regulator in the start-to-tube phase made it possible to achieve an increase in the yield of spring wheat Yoldyz and an increase in its quality indicators in the conditions of the Middle Urals.

Key words: spring wheat, grain yield, growth regulator, liquid complex fertilizers, grain quality

For citation: Islamova Ch. M., Goreeva V.N., Korepanova E.V., Medvedeva G.R., Fatykhov I. Sh. The effect of treatment of crops with liquid complex fertilizers and growth regulators on the quality of spring wheat grain // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P.37–45 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.70.006>

Введение

Актуальность. Формирование качественных характеристик зерна связано с действием многих причин, из которых одной из важных являются генотипические особенности растений, элементы технологии возделывания и складывающиеся в процессе роста и развития погодные условия [1]. Среди зерновых культур наибольшее продовольственное значение имеет мягкая пшеница. Получение зерна высокого урожая с хорошими показателями качества возможно лишь при грамотно разработанной и примененной технологии выращивания продовольственного зерна. Технологиче-

скими приемами необходимо нейтрализовать неблагоприятные почвенно-климатические условия и как можно полнее удовлетворить биологическую потребность пшеницы на всех этапах онтогенеза и формирования качественного зерна [2].

Для полноценного роста и развития полевых культур необходимо обеспечивать их потребным количеством макроэлементов и микроэлементов [3]. Особенно повышается роль элементов питания при выращивании яровой мягкой пшеницы в тех случаях, когда отмечается недостаток их в почве, когда в случае роста урожайности происходит одновременный рост потребности в макро- и



микроэлементах и когда перед сельхозпроизводителями ставится задача повышения качества получаемого зерна [4].

При использовании жидких комплексных минеральных удобрений в виде некорневой подкормки химические элементы поступают через листья, что является наиболее приемлемым способом поглощения питательных веществ. Данный, простой в использовании, прием позволяет улучшить результативность применения минеральных удобрений, повысить продуктивность полевых культур и стабилизировать качественные показатели продукции [5].

В настоящее время стало популярным использование физиологически активных веществ, применяемых с целью коррекции роста и развития растений – регуляторов роста. Данный прием можно отнести к ресурсосберегающим агротехническим приемам. Ввиду обширного спектра действия на растения с помощью регуляторов роста можно целенаправленно воздействовать на потенциал живых организмов [6].

В исследованиях ученых Среднего Предуралья [9–13] собран довольно обширный научный материал о влиянии предпосевной обработки регуляторами роста и микроэлементами на урожайность и качество зерна, но мало публикаций – о влиянии некорневой подкормки данными препаратами. В связи с этим актуальность исследований не вызывает сомнения.

Цель исследований – разработка агроприема, позволяющего путем некорневой подкормки жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста получить высокую урожайность с хорошим качеством зерна.

Объект и методы исследований

Научные эксперименты проводились в 2022–2024 гг. на опытном поле УНПК «Агротехнопарк», лабораторные анализы осуществлялись в лабораториях кафедр Удмуртского ГАУ. Экспериментальным объектом стал сорт яровой пшеницы Йолдыз. Опыт по изучению влияния действия различных жидких минеральных удобрений и регуляторов роста, используемых по вегетации на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, был заложен по следующей схеме: 1 – без обработки (контроль); 2 – AGREE'S Форсаж (2 л/га); 3 – К-Гумат-На с микроэлементами (2 л/га); 4 – КомплеМет PKMg (2 л/га); 5 – КомплеМет Зерно Импульс (2 л/га); 6 – Рэгги (1 л/га); 7 – Рибав-Экстра (4 мл/га); 8 – Биосил (30 мл/га). Расход рабочей жидкости во всех вариантах – 300 л/га.

AGREE'S Форсаж представляет собой оптимальный набор макро- и микроэлементов в форме хелатов, в виде жидкого комплексного минерального удобрения, насыщенного аминокислотами, гуминовыми и органическими кислотами.

КомплеМет PKMg представляет собой жидкий комплекс, состоящий из магния в хелатной форме, фосфора и калия – в органической. С помощью данного препарата можно убрать симптомы недостатка магния на растениях и оптимизировать фосфорно-калийное питание.

КомплеМет Зерно Импульс – жидкое комплекс-

ное минеральное удобрение, содержащее набор макро- и микроэлементов, а также включающее 20 % биоактивных компонентов, таких как гормоны, витамины группы В, аминокислоты. Препарат усиливает иммунитет растений к вредным объектам, повышает сопротивляемость растения к засухе, повышенным и пониженным температурам и обеспечивает всеми необходимыми элементами в процессе роста и развития растения.

К-Гумат-На с микроэлементами является надежным антистрессовым препаратом и биологическим активатором роста растений, способствующим улучшению репродуктивных свойств растений и качества урожая. В состав его входят макро- (азот, фосфор, калий, магний) и микроэлементы (бор, кобальт, медь, железо, марганец, молибден, цинк), а также гуминовые кислоты (гуматы), гидроксикарбоновые кислоты и аминокислоты.

Рэгги, ВРК – регулятор роста растений, содержащий 750 г/л хлормекватхлорида, предотвращающий полегание растений, повышающий урожайность и улучшающий качество продукции.

Рибав-Экстра – регулятор роста растений, активным компонентом препарата является 0,00152 г/л L-аланин + 0,00196 г/л L-глутаминновой кислоты, а также метаболиты микоризных грибов, полученные из корней многолетнего женьшеня в виде биологически активных компонентов, таких как аминокислоты, липиды, пептиды, ферменты и витамины.

Биосил, ВЭ – природный экологически чистый регулятор роста, на основе 100 г/л тритерпеновых кислот, повышающий устойчивость к болезням и неблагоприятным условиям внешней среды.

Опытные участки представляли собой дерново-подзолистую среднесуглинистую почву, пахотный слой которых в годы проведения научных экспериментов имел следующие агрохимические характеристики: количество гумуса варьировало от очень низкого до среднего уровня (1,47–2,28 %), pH почвы колебалась от среднекислой до слабокислой среды (4,43–5,12pH), содержание подвижных форм фосфора находилось в пределах от повышенного до высокого (112–168 мг/кг) и калия – от среднего до очень высокого (92–309 мг/кг).

Результаты исследований и их обсуждение

Продуктивность сельскохозяйственных культур, включая и яровую пшеницу, обусловлена большим разнообразием факторов, среди которых ключевая роль принадлежит почвенно-климатическим условиям. Наибольшее влияние на формирование качества зерна яровой пшеницы оказывает приток солнечной радиации, сумма положительных температур в период вегетации, сумма осадков, относительная влажность воздуха. Каждый отдельный период и складывающиеся при этом метеорологические условия влияют на формирование урожайности и качества зерна [1, 2].

В годы проведения исследований сложились метеорологические условия, характеризующие разнообразие, присущее Среднему Предуралью.

Периоды посев-всходы и всходы-кущение в



годы проведения исследований существенно различались. В 2022 г. увлажнение было достаточным – ГТК=1,52 и 1,45 соответственно, что отразилось на появлении дружных всходов и хорошей кустистости пшеницы (рис. 1). В 2023 г. в анализируемые периоды осадков практически не выпало, наблюдалась очень сильная засуха на фоне повышенных температур воздуха: ГТК=0,04 в пе-

риод посев-всходы и ГТК=0,25 в период всходы-кущение. Для 2024 г. было характерно переувлажненное состояние. В период посев-всходы осадки были ливневого характера, что снизило полевую всхожесть семян яровой пшеницы. В исследуемые периоды стояла прохладная погода, когда среднесуточная температура была ниже средне-многолетних значений.

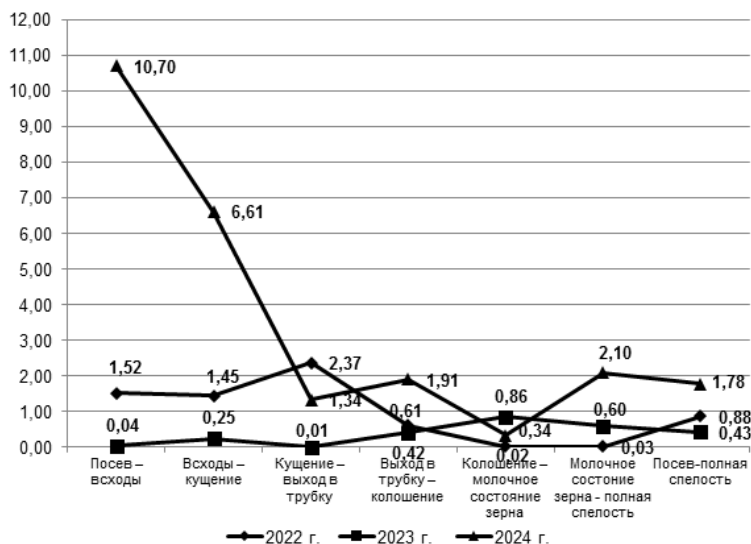


Рис. 1 – Гидротермические коэффициенты по фазам роста и развития яровой пшеницы
Fig. 1 – Hydrothermal coefficients for the phases of growth and development of spring wheat

В период кушение-выход в трубку яровой пшеницы в 2022 г. сложились очень влажные условия (ГТК=2,37), в 2023 г. – очень сильно засушливые (ГТК=0,01) и в 2024 г. – наблюдалось переувлажнение (ГТК=1,34). Высокая температура воздуха и недостаток влаги в почве в период налива зерна обуславливают повышение содержания белка и клейковины в зерне. Такие благоприятные условия сложились в 2022 г., когда гидротермический коэффициент в периоды колошение-молочное состояние зерна составил 0,02 и молочное состояние зерна-полная спелость – 0,03. В анализируемый год яровая пшеница Йолдыз накопила в урожае зерна в среднем по опыту 14,1 % белка и 33,9 % клейковины. Выпадение осадков и повышенная температура воздуха в 2023 г. в период колошение-полная спелость, когда ГТК равнялся 0,86 и 0,64, способствовали накоплению в зерне 13,5 % белка и 28,6 % клейковины. В 2024 г. для периода колошение-молочное состояние зерна была характерна сильная засуха (ГТК=0,34) и для периода молочное состояние зерна-полная спелость – переувлажнение (ГТК=2,1), когда яровая пшеница формировала низкое содержание белка (12,2 %) и клейковины (23,6 %).

Таким образом, годы проведения исследований охватывали разнообразие метеорологических условий: 2022 г. характеризовался, как недостаточно влажный (ГТК=0,84), 2023 г. – сильно засушливый (ГТК=0,43) и 2024 г. – достаточно влажный (ГТК=1,78).

В среднем за 2022-2024 гг. урожайность зерна яровой пшеницы определялась агротехническим приемом ухода за посевами: листовая подкормка посевов жидкими минеральными удобрениями и опрыскивание регуляторами роста (табл.1). Наиболее высокий показатель урожайности имели варианты с обработкой растений препаратами AGREE'S Форсаж, с продуктивностью 2,85 т/га, КомплеМет PKMg – 2,88 т/га и регулятором роста Рэгги – 2,93 т/га, которые показывали существенную прибавку 0,23-0,31 т/га или, что в процентном отношении составляет 9-12 при сопоставлении с контрольным вариантом. Агрохимикаты К-Гумат-На в составе с микроэлементами, КомплеМет Зерно Импульс, регуляторы Рибав-Экстра и Биосил, используемые для обработки посевов по листу, также позволяли получить эффект в виде повышения урожайности на 0,11-0,15 т/га зерна при НСР₀₅=0,09 т/га.

Таблица 1– Урожайность зерна, сформированная в урожае зерна яровой пшеницы под действием опрыскивания посевов жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста, среднее 2022–2024 гг.

Обработка посевов по вегетации	Урожайность зерна, т/га	Отклонение от контроля	
		т/га	%
Без обработки (к)	2,62		
AGREE'S Форсаж	2,85	+0,23	+9



Продолжение таблица 1

К-Гумат-На с микроэлементами	2,74	+0,12	+5
КомплеМетPKMg	2,88	+0,26	+10
КомплеМет Зерно Импульс	2,77	+0,15	+6
Рэгги	2,93	+0,31	+12
Рибав-Экстра	2,83	+0,21	+8
Биосил	2,73	+0,11	+4
НСП ₀₅		0,09	3

Стекловидность зерна пшеницы – один из ключевых показателей качества зерна, который характеризует консистенцию эндосперма. Наибольшая стекловидность зерна яровой пшеницы Йолдыз была сформирована при опрыскивании посевов AGREE'S Форсаж, КомплеМет PKMg, КомплеМет Зерно Импульс и составила 66 %, что на 2

% выше, чем аналогичный показатель в варианте без обработки и на 1-2 % – в других изучаемых вариантах при НСП₀₅=1 %. При использовании регуляторов роста Рибав-Экстра и Биосил зерно имело стекловидность 66 %, что было на одном уровне с контролем (табл. 2).

Таблица 2 – Стекловидность и натура, сформированная в урожае зерна яровой пшеницы под действием опрыскивания посевов жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста, среднее 2022–2024 гг.

Обработка посевов по вегетации	Стекловидность, %	Натура зерна, г/л
Без обработки (к)	64	752
AGREE'S Форсаж	66	767
К-Гумат-На	64	758
КомплеМетPKMg	66	768
КомплеМет Зерно Импульс	66	759
Рэгги	65	766
Рибав-Экстра	64	758
Биосил	64	757
НСП ₀₅	1	4

Проведение опрыскивания посевов изучаемыми в опыте препаратами положительно отразилось на формировании натуры зерна яровой пшеницы, которая на 5-16 г/л превышала вариант без обработки при НСП₀₅=4 г/л. Применение удобрений AGREE'S Форсаж, КомплеМет PKMg и регулятора роста Рэгги по вегетации яровой пшеницы положительно повлияло на натурную массу зерна, сформировав ее на уровне 766-768 г/л. Прибавка данного показателя в этих вариантах составила 14-16 г/л.

В питании человека ключевым компонентом является белок, обеспечивающий организм аминокислотами. Поэтому определение количества данного вещества в сырье и продуктах переработки является ключевым приоритетом. От уровня содержания белка в зерне зависит один из важных косвенных показателей хлебопекарной характеристики пшеницы — количественное содержание клейковины.

Существенное влияние на биохимические параметры качества зерна яровой пшеницы оказывают метеорологические условия произрастания и технологические приемы в технологии возделывания.

В более засушливых условиях созревания зерна, что было характерно для 2022 года, урожай содержал в среднем 14,1 % белка, что было на 0,6 % и 1,9 % выше анализируемого показателя 2023 г. и 2024 г. соответственно (табл. 3). Также в этот год в зерне сформировалась высокая концентрация клейковины – 33,9 %. Используемые жидкие минеральные удобрения существенно увеличивали содержание белка в зерне пшеницы в 2021 г. на 0,6-0,9 %, в 2023 г. – на 0,5-0,6 %, в 2024 г. – на 0,5-1,1 % относительно контрольного варианта. Опрыскивание посевов в 2022 г. и в 2023 г. только регулятором роста Рэгги способствовало повышению содержания белка на 0,6 % и 0,4 % соответственно. В условиях 2024 г. все изучаемые регуляторы роста существенно увеличили анализируемый показатель. На содержание клейковины положительно повлияли используемые в опыте удобрения AGREE'S Форсаж и регулятор роста Рэгги, которые ежегодно обеспечивали значимое превышение данного показателя: в 2022 г. – на 5,0-5,4 %, в 2023 г. – на 0,6 % и в 2024 г. – на 0,4-0,7 %.



Таблица 3 – Содержание белка и клейковины, сформированное в урожае зерна яровой пшеницы под действием опрыскивания посевов жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста

Обработка посевов по вегетации	Массовая доля белка, %			Клейковина, %		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Без обработки (к)	13,6	13,1	11,4	30,4	28,5	23,2
AGREE`S Форсаж	14,3	13,7	12,5	35,8	29,1	23,9
К-Гумат-На	14,2	13,4	11,9	35,4	28,6	23,3
КомплеМет РКМg	14,5	13,7	12,4	34,1	29,4	23,9
КомплеМет Зерно Импульс	14,3	13,7	12,4	34,4	29,3	23,7
Рэгги	14,2	13,6	12,5	35,4	29,1	23,6
Рибав-Экстра	13,8	13,2	12,4	35,1	28,5	23,6
Биосил	13,7	13,3	11,9	30,8	28,6	23,6
Среднее по опыту	14,1	13,5	12,2	33,9	28,9	23,6
НСР ₀₅	0,5	0,4	0,2	0,7	0,6	0,4

В среднем за три года исследований вариант без проведения опрыскивания посевов имел относительно низкое содержание белка – 12,7 % и клейковины – 27,3 % (рис. 2). Применение некорневой подкормки изучаемыми препаратами существенно повышало содержание белка на 0,3-0,8 % (НСР₀₅=0,2 %) и клейковины на

0,4-2,1 % (НСР₀₅=0,3 %). Наибольшее содержание – 13,4-13,5 % белка было в вариантах опрыскивания посевов регулятором роста Рэгги и жидкими удобрениями AGREE`S Форсаж, КомплеМет РКМg и КомплеМет Зерно Импульс по сравнению с другими вариантами в опыте.

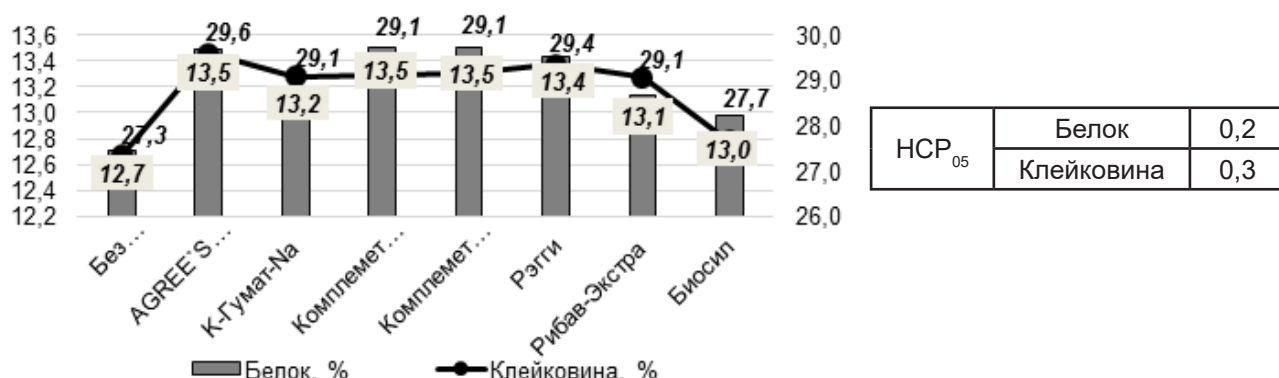


Рис. 2– Содержание белка и клейковины, сформированное в урожае зерна яровой пшеницы под действием опрыскивания посевов жидкими минеральными удобрениями и регуляторами роста, среднее 2022-2024 гг.

Fig. 2– Protein and gluten content in spring wheat grain, depending on the treatment of crops with liquid mineral fertilizers and growth regulators, average 2022-2024

Относительно высоким содержанием клейковины выделились варианты с обработкой посевов препаратами Рэгги (29,4 %) и жидким комплексным удобрением AGREE`S Форсаж (29,6 %), которые имели преимущество, равное 0,3-2,3 % перед вариантом, взятым за контроль (27,3 %) и остальными изучаемыми препаратами.

Закключение

На основании трехлетних исследований (2022-2024 гг.) можно сделать следующие выводы:

1. Некорневая подкормка удобрениями AGREE`S Форсаж (2,85 т/га), КомплеМет РКМg (2,88 т/га) и регулятором роста Рэгги (2,93 т/га) способствует формированию относительно высокой урожайности зерна яровой пшеницы, обеспе-

чивает существенную прибавку 0,23-0,31 т/га или 9-12 % относительно урожайности зерна в варианте без обработки.

2. Наибольшая стекловидность зерна яровой пшеницы Йолдыз – 66 % была сформирована при опрыскивании посевов AGREE`S Форсаж, КомплеМет РКМg, КомплеМет Зерно Импульс и натура зерна 766-768 г/л – при использовании удобрений AGREE`S Форсаж, КомплеМет РКМg и регулятора роста Рэгги. При сложившихся засушливых условиях в вегетационный период, в частности, в периоды формирования, налива и созревания, урожай зерна яровой пшеницы отличался сравнительно высоким уровнем содержания белка 14,1 % и сырой клейковины 33,9 %.



Существенно большим преимуществом по накоплению в урожае белка и клейковины, выделились варианты использования для опрыскивания AGREE'S Форсаж, КомплеМет РКМg, КомплеМет Зерно Импульс и Рэги.

Список источников

1. Исмагилов, Р.Р. Качество и технология производства хлебопекарного зерна пшеницы / Р. Р. Исмагилов, Р. А. Хасанов. – Уфа: Гилем, 2005. – 200 с. ISBN 5-7501-0557-1. – EDN RLIMUV.
2. Коданев, И. М. Повышение качества зерна / И. М. Коданев. – Москва: Колос, 1976. – 304 с.
3. Фатыхов, И. Ш. Интенсивная технология возделывания яровой пшеницы в Предуралье : учебное пособие / И. Ш. Фатыхов ; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 1996. – 58 с. – EDN RBJMP.
4. Фатыхов, И. Ш. Предпосевная обработка семян смесью микроудобрений и элементный состав зерна овса посевного сорта Гунтер / И. Ш. Фатыхов, В. Г. Колесникова, А. И. Кубашева // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 8. – С. 19-20. – EDN SMMGGZ.
5. Bingham, I. J. Commercially available plant growth regulators and promoters modify bulk tissue abscisic acid concentrations in spring barley, but not root growth and yield response to drought / I. J. Bingham, V. B. McCabe. // Annals of applied biology. – 2006. – Vol. 149, – №-3. – P. 291–304.
6. Программирование урожайности полевых культур в Уральском регионе Нечерноземной зоны России : Учебное пособие для студентов и аспирантов, обучающихся по укрупненной группе специальностей «Сельское, лесное и рыбное хозяйство» / И. Ш. Фатыхов, Е. В. Корепанова, Ч. М. Исламова, В. Н. Гореева. – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – 147 с. ISBN 978-5-9620-0375-7. – EDN XJAUFE.
7. Исламова, Ч. М. Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы Йолдыз на формирование урожайности зерна / Ч. М. Исламова, Е. Л. Дудина, И. Ш. Фатыхов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3. – С. 23-31. – EDN CAMIPZ.
8. Исламова, Ч. М. Натура зерна ярового ячменя Камашевский при предпосевной обработке семян / Ч. М. Исламова, И. Н. Хохряков // ВЕКовое растениеводство : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства, Пермь, 15 декабря 2023 года. – Пермь: ИПЦ Прокрость, 2023. – С. 108-113. – EDN NOSPPA.
9. Макарова, В. М. Сортовая реакция ячменя на предпосевную обработку семян / В. М. Макарова, И. Ш. Фатыхов, С. К. Смирнова // Вузовская наука - сельскохозяйственному производству : материалы XXIV научно-производственной конференции профессорско-преподавательского состава Ижевского сельскохозяйственного института: тезисы докладов, Ижевск, 14–15 ноября 1991 года / Ижевский сельскохозяйственный институт. – Ижевск, 1991. – С. 87. – EDN REXVBN.
10. Реакция овса Яков на предпосевную обработку семян и нормы высева фотосинтетической деятельностью в условиях Среднего Предуралья / И. Ш. Фатыхов, К. В. Захаров, В. Г. Колесникова, Т. Н. Рябова // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 4(24). – С. 103-109. – EDN YZVOPB.
11. Рябова, Т. Н. Качество зерна овса Конкур в зависимости от предпосевной обработки семян / Т. Н. Рябова, Ч. М. Исламова // Роль филиала кафедры на производстве в инновационном развитии сельскохозяйственного предприятия : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию филиала кафедры растениеводства ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА в СХПК - Колхоз имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики, Ижевск, 25–27 июня 2014 года / Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – С. 51-53. – EDN TLWKRZ.
12. Рябова, Т. Н. Предпосевная обработка семян и формирование урожайности овса Конкур / Т. Н. Рябова, Ч. М. Салимова // Научное обеспечение развития АПК в современных условиях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 15–18 февраля 2011 года / Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Том 1. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – С. 146-149. – EDN SDNSCP.
13. Хохряков, И. Н. Влияние доз минеральных удобрений и регуляторов роста на качество зерна ярового ячменя / И. Н. Хохряков, Ч. М. Исламова // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность : Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б.Х. Фиашева, Нальчик, 22 марта 2024 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2024. – С. 146-150. – EDN LGZUAO.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Ismagilov, R. R. *Kachestvo i tekhnologiya proizvodstva khlebopekarnogo zerna pshenicy* / R. R. Ismagilov, R. A. Khasanov. – Ufa: Gilem, 2005. – 200 s. ISBN 5-7501-0557-1. – EDN RLIMUV.
2. Kodanov, I. M. *Povyshenie kachestva zerna* / I. M. Kodanov. – Moskva: Kolos, 1976. – 304 s.



3. Fatykhov, I. SH. *Intensivnaya tekhnologiya vozdel'yvaniya yarovoj pshenicy v Predural'e : uchebnoe posobie* / I. SH. Fatykhov ; Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya. – Izhevsk : Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya, 1996. – 58 s. – EDN RBJMPP.
4. Fatykhov, I. SH. *Predposevnaya obrabotka semyan smes'yu mikroudobrenij i ehlementnyj sostav zerna ovsa posevnogo sorta Gunter* / I. SH. Fatykhov, V. G. Kolesnikova, A. I. Kubasheva // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2014. – № 8. – S. 19-20. – EDN SMMGGZ.
5. Bingham, I. J. *Commercially available plant growth regulators and promoters modify bulk tissue abscisic acid concentrations in spring barley, but not root growth and yield response to drought* / I. J. Bingham, V. B. McCabe. // *Annals of applied biology*. – 2006. – Vol. 149, – №-3. – P. 291–304.
6. *Programmirovaniye urozhajnosti polevykh kul'tur v Ural'skom regione Nechernozemnoj zony Rossii : Uchebnoe posobie dlya studentov i aspirantov, obuchayushchikhsya po ukрупnennoj gruppe special'nostej «Sel'skoe, lesnoe i rybnoe khozyajstvo»* / I. SH. Fatykhov, E. V. Korepanova, CH. M. Islamova, V. N. Goreeva. – Izhevsk : Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya, 2020. – 147 s. ISBN 978-5-9620-0375-7. – EDN XJAUFE.
7. Islamova, CH. M. *Vliyanie predposevnoj obrabotki semyan yarovoj pshenicy Joldyz na formirovaniye urozhajnosti zerna* / CH. M. Islamova, E. L. Dudina, I. SH. Fatykhov // *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii*. – 2022. – № 3. – S. 23-31. – EDN CAMIPZ.
8. Islamova, CH. M. *Natura zerna yarovogo yachmenya Kamashevskij pri predposevnoj obrabotke semyan* / CH. M. Islamova, I. N. Khokhryakov // *VEKovoe rastenievodstvo : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu kafedry rastenievodstva, Perm', 15 dekabrya 2023 goda*. – Perm': IPC Prokrost, 2023. – S. 108-113. – EDN NOSPPA.
9. Makarova, V. M. *Sortovaya reakciya yachmenya na predposevnuyu obrabotku semyan* / V. M. Makarova, I. SH. Fatykhov, S. K. Smirnova // *Vuzovskaya nauka - sel'skokhozyajstvennomu proizvodstvu : materialy XXIV nauchno-proizvodstvennoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava Izhevskogo sel'skokhozyajstvennogo instituta: tezisy dokladov, Izhevsk, 14–15 noyabrya 1991 goda* / Izhevskij sel'skokhozyajstvennyj institut. – Izhevsk, 1991. – S. 87. – EDN REXVBN.
10. *Reakciya ovsa Yakov na predposevnuyu obrabotku semyan i normy vyseva fotosinteticheskoy deyatel'nost'yu v usloviyakh Srednego Predural'ya* / I. SH. Fatykhov, K. V. Zakharov, V. G. Kolesnikova, T. N. Ryabova // *Permskij agrarnyj vestnik*. – 2018. – № 4(24). – S. 103-109. – EDN YZVOPB.
11. Ryabova, T. N. *Kachestvo zerna ovsa Konkur v zavisimosti ot predposevnoj obrabotki semyan* / T. N. Ryabova, CH. M. Islamova // *Rol' filiala kafedry na proizvodstve v innovacionnom razvitii sel'skokhozyajstvennogo predpriyatiya : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 30-letiyu filiala kafedry rastenievodstva FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA v SKHPK - Kolkhoz imeni Michurina Vavozhskogo rajona Udmurtskoj Respubliki, Izhevsk, 25–27 iyunya 2014 goda* / *Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya*. – Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya, 2014. – S. 51-53. – EDN TLWKRZ.
12. Ryabova, T. N. *Predposevnaya obrabotka semyan i formirovaniye urozhajnosti ovsa Konkur* / T. N. Ryabova, CH. M. Salimova // *Nauchnoe obespecheniye razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Izhevsk, 15–18 fevralya 2011 goda* / *Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya*. Tom 1. – Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya, 2011. – S. 146-149. – EDN SDNSCP.
13. Khokhryakov, I. N. *Vliyanie doz mineral'nykh udobrenij i regulyatorov rosta na kachestvo zerna yarovogo yachmenya* / I. N. Khokhryakov, CH. M. Islamova // *Sel'skokhozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost' : Materialy KH Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya, professora B.KH. Fiapшева, Nal'chik, 22 marta 2024 goda*. – Nal'chik: Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.M. Kokova, 2024. – S. 146-150. – EDN LGZUAO

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

Исламова Чулпан Марсовна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Chulpanislamova_85@mail.ru

Гореева Вера Николаевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», goreeva_v_n@mail.ru

Корепанова Елена Витальевна, д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», k_evital@mail.ru



Медведева Гульзира Рамазановна, канд. с.-х. наук, ст. препод. кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», gulzira.galieva@gmail.ru

Фатыхов Ильдус Шамилович, д-р с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», Fatykhovildus@mail.ru

Author Information

Islamova Chulpan M., *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, Chulpanislamova_85@mail.ru*

Goreeva Vera N., *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, goreeva_v_n@mail.ru*

Korepanova Elena V., *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, k_evital@mail.ru*

Gulzira Ramazanovna M., *Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Crop Production, Agriculture and Breeding, Udmurt State Agrarian University, gulzira.galieva@gmail.ru*

Fatykhov Ildus Sh., *Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Udmurt State Agrarian University, Fatykhovildus@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 17.01.2025; одобрена после рецензирования 24.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 17.01.2024; approved after reviewing 24.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 46-54
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.46-54

Научная статья
УДК 504.064.47
DOI: 10.36508/RSATU.2025.89.11.007

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВОЗА СВИНОКОМПЛЕКСА
В ЦИКЛАХ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ

Татьяна Андреевна Колесникова^{1✉}, Марина Анатольевна Куликова²

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

¹ tanechka-ko1986@yandex.ru

² my7rysyk@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. В статье исследуются последствия циклов замораживания-оттаивания для физико-химических свойств свиного навоза и его фосфорных форм. В условиях растущего поголовья скота и увеличения объемов производства продуктов животноводства навоз свиней становится значительным источником фосфора, способным вызывать загрязнение водных ресурсов. Цель статьи заключается в изучении влияния циклов замораживания-оттаивания на физико-химические свойства свиного навоза и его фосфорные формы, а также в анализе влияния содержания влаги в навозе и частоты проведения замораживания-оттаивания на изменение этих параметров.

Методология. Отбор проб свиного навоза проводился на свином комплексе Зерноградского района Ростовской области. Перед началом эксперимента образцы свиного навоза одинаковой массы были помещены в пластиковые контейнеры весом по 1 кг с герметичными крышками для предотвращения потери влаги. Имитационные эксперименты были рассчитаны на две серии. Один набор образцов замораживали при температуре 20° С в течение 12 ч в термостате (обработка замораживанием-оттаиванием). Другой набор был заморожен при температуре -18° С без периода оттаивания в качестве контроля (обработка только замораживанием). Общий период каждой обработки составлял 30 дней. В конце эксперимента замороженный навоз размораживали для дальнейшего анализа.

Результаты. Результаты свидетельствуют о том, что структура и физико-химические свойства навоза животных будут меняться более резко в регионах сезонного замораживания-оттаивания, чем в регионах длительного замораживания. Кроме того, обнаружили, что Са-Р, поглощенный-Р и остаточный-Р в навозе могут быть преобразованы в NH₄Cl-Р, Al-Р и Fe-Р во время циклов замораживания-оттаивания, что приведет к увеличению биодоступности Р навоза более чем на 20 %. Кроме того, основные изменения в распределении частиц навоза показали, что частицы >1000 мкм были разбиты на частицы <250 мкм во время замораживания-оттаивания.

Выводы. Циклические изменения температуры существенно влияют на содержание фосфора в навозе, а также на его распределение между различными формами. При этом наблюдается значительное увеличение содержания некоторых форм фосфора, таких как NH₄Cl-Р и Al-Р, что указывает на повышение их доступности и потенциальной мобильности. Это особенно важно, учитывая, что такие формы фосфора могут легко вымываться в водоемы, способствуя эвтрофикации. Также установлено, что замораживание-оттаивание приводит к изменению размеров частиц навоза, увеличивая долю мелких фракций (<38 мкм), что облегчает перенос фосфора вместе с этими частицами. Важно отметить, что высокая влажность навоза усиливает этот процесс, приводя к увеличению подвижности фосфора и повышению риска загрязнения окружающей среды. Таким образом, полученные данные подчеркивают необходимость учета эффектов замораживания-оттаивания при оценке экологических рисков, связанных с утилизацией навоза свиней.

Ключевые слова: свиной навоз, замораживание-оттаивание, формы фосфора, влажность, размеры частиц

Для цитирования: Колесникова Т.А., Куликова М.А. Исследование физико-химических характеристик навоза свиного комплекса в циклах замораживания-оттаивания // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.46-54 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.89.11.007>



Original article

RESEARCH OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PIG FARM MANURE
IN FREEZE-THAW CYCLESTatyana A. Kolesnikova¹✉, Marina A. Kulikova²^{1,2} South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia¹ tanechka-ko1986@yandex.ru² my7rysyk@mail.ru**Abstract**

Problem and purpose. The article examines the effects of freeze-thaw cycles on the physicochemical properties of pig manure and its phosphorus forms. With increasing livestock numbers and increased production of livestock products, pig manure is becoming a powerful amplifier capable of polluting water resources.

Methodology. Pig manure sampling was carried out at a pig farm in the Zernograd district of the Rostov region. Before the experiment, pig manure samples of the same mass were placed in 1 kg plastic containers with airtight lids to prevent moisture loss. The simulation experiments were designed for two series. One set of samples was frozen in a freezer at -18° C for 12 h and then thawed at 20° C for 12 h in a thermostat (freeze-thaw treatment). The other set was frozen at -18° C without a thawing period as a control (freeze-only treatment). The total period of each treatment was 30 days. At the end of the experiment, the frozen manure was thawed for further analysis.

Results. The results suggest that the structure and physicochemical properties of animal manure will change more dramatically in seasonal freeze-thaw regions than in long-term freeze-thaw regions. In addition, it was found that Ca-P, adsorbed-P and residual-P in manure could be converted to NH₄Cl-P, Al-P and Fe-P during freeze-thaw cycles, which would increase the bioavailability of manure P by more than 20 %. In addition, the major changes in the particle distribution of manure showed that particles >1000 µm were broken down into particles <250 µm during freeze-thaw.

Conclusion. Temperature cycling significantly affects the phosphorus content in manure, as well as its distribution between different forms. There is a significant increase in the content of some phosphorus forms, such as NH₄Cl-P and Al-P, indicating an increase in their availability and potential mobility. This is especially important given that these forms of phosphorus can easily wash out into water bodies, contributing to eutrophication. It was also found that freeze-thaw cycles change the particle size of manure, increasing the proportion of fine fractions (<38 µm), which facilitates the transport of phosphorus along with these particles. Importantly, high manure moisture enhances this process, leading to increased phosphorus mobility and an increased risk of environmental pollution. Thus, the obtained data highlight the need to take freeze-thaw effects into account when assessing the environmental risks associated with pig manure disposal.

Key words. Pig manure, freezing-thawing, forms of phosphorus, humidity, particle sizes

For citation: Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Research of physicochemical characteristics of pig farm manure in freeze-thaw cycles // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1. P.46-54 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.89.11.007>

Введение

В условиях растущего экономического развития и спроса на продукты животноводства поголовье скота неизменно растет. Как следствие, в России ежегодно накапливается огромное количество навоза свиней [1]. В то время как навоз животных является важным органическим удобрением для сельскохозяйственных почв [2], его чрезмерное использование может привести к накоплению фосфора (P) в почве и эвтрофикации поверхностных вод [3]. На сельское хозяйство приходится примерно 67 % выбросов P, попадающих в водные пути, причем 55 % из них приходится на навоз животных. Таким образом, загрязнение воды из неточечных источников в результате внесения навоза животными привлекло большое внимание. Фосфор является активным элементом в сельскохозяйственных системах и может подвергаться значительному влиянию многих факторов.

В настоящее время большинство исследова-

ний по этой теме посвящено потере фосфора и его подвижности в почвах, удобренных навозом [4-6]. Отмечено, что содержание P в талых сточных водах значительно возросло, особенно на участках, обработанных навозом животных (в 10 раз выше, чем в контрольных, не обработанных свиным навозом) [3,5].

Циклы замораживания-оттаивания играют важную роль в переносе фосфора, главным образом, изменяя содержание растворенного фосфора в почвах. Циклы могут влиять на выделение фосфора, изменяя структуру почвы. Например, они могут непосредственно удалять покрытия из оксида железа и разрушать почвенные агрегаты, чтобы обеспечить растворение большего количества P, что может увеличить извлекаемость. Эти исследования показали, что замораживание-оттаивание может изменять текущую форму P в почве, влияя на ее содержание 14 % [7]. Кроме того, циклы могут повреждать клетки растений и увеличивать со-



держание растворенных Р. Отмечено, что содержание растворенного реактивного Р в стоках из почвы, где возделывались сельскохозяйственные культуры, увеличилось с 0,1 мг/л до 9,7 мг/л после замораживания-оттаивания [3]. Более того, циклы могут влиять на микробную активность почвы, а также на минерализацию Р, что может дополнительно изменить уровень доступного Р. Аналогичным образом, в зимний сезон на открытых площадках, где не вносятся органические удобрения, может храниться большое количество навоза свиней, который затем подвергается замораживанию и оттаиванию.

Однако данных об изменениях содержания Р в навозе, подвергнутом циклам замораживания-оттаивания, недостаточно. Распределение фосфора в навозе животных зависит от размера частиц навоза, причем более мелкие частицы содержат более высокие концентрации фосфора из-за их большей удельной площади поверхности. Во время выпадения осадков мелкие частицы являются основным компонентом навоза, они смываются и облегчают транспортировку связанных с частицами соединений [8]. Исследования, касающиеся влияния замораживания-оттаивания на распределение частиц почвы, предполагают, что эти процессы могут разрушать почвенные агрегаты, образуя мелкие частицы и снижая устойчивость агрегатов [9]. Мелкие частицы, возникающие в результате дезагрегации, могут быть мобилизованы талой водой, что способствует связи с частицами загрязняющих веществ. Согласно этим результатам, циклы замораживания-оттаивания могут влиять на распределение частиц в навозе животных и потенциальную подвижность Р, связанного с частицами навоза.

Свиной навоз после удаления в места накопления, как правило, имеет высокое содержание влаги. Это является важным фактором, влияющим на эффект замораживания-оттаивания и может привести к значительным изменениям в структуре почвы. Кроме того, продолжительность периодов замораживания и оттаивания зависит от географического расположения места накопления навоза. Хотя факторы, влияющие на интенсивность воздействия замораживания-оттаивания на почву, были изучены очень подробно [10], в очень немногих исследованиях рассматривалось влияние содержания влаги или периодов замораживания-оттаивания на навоз свиней в условиях дезагрегации холодом. Целью исследования являлось проведение имитационного эксперимента, в котором свиной навоз подвергался 30-дневному замораживанию и оттаиванию. Модифицированный метод фракционирования Р был использован для количественной оценки трансформации навоза свиней и его распределения в различных частицах. В задачи данного исследования входило: изучение влияния замораживания-оттаивания на физико-химические свойства навоза и его Р-форм, а также влияния содержания влаги и

частоты проведения замораживания-оттаивания. Полученные результаты могут быть использованы для оценки влияния замораживания и оттаивания навоза свиней на окружающую среду.

Материалы и методы исследования

Отбор проб свиного навоза проводился на свином комплексе зерноградского района Ростовской области. Перед началом эксперимента образцы свиного навоза одинаковой массы были помещены в пластиковые контейнеры весом по 1 кг с герметичными крышками для предотвращения потери влаги. Имитационные эксперименты были рассчитаны на две серии. Один набор образцов замораживали в морозильной камере при температуре -18°C в течение 12 ч, а затем размораживали при температуре 20°C в течение 12 ч в термостате (обработка замораживанием-оттаиванием). Другой набор был заморожен при температуре -18°C без периода оттаивания в качестве контроля (обработка только замораживанием). Общий период каждой обработки составлял 30 дней. В конце эксперимента замороженный навоз размораживали для дальнейшего анализа.

Между тем, перед проведением обработки только замораживанием образцы навоза были скорректированы на два значения содержания влаги, чтобы изучить влияние содержания влаги на физико-химические свойства навоза в условиях замораживания-оттаивания. В одной серии исследований начальное содержание влаги в свином навозе составляло 85 % (низкое содержание влаги), а в другой – 95 % (высокое содержание влаги). Затем образцы были подвергнуты замораживанию и оттаиванию. Из каждой серии были отобраны образцы через дни 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30. Все исследования были проведены в трех повторностях. Части образцов подвергали заморозке сразу после сбора с использованием морозильной камеры при температуре -30°C в течение 36 часов. Оставшиеся образцы хранили при температуре 4°C для дальнейшего анализа.

Содержание влаги в навозе свиней определяли исходя из потери массы после сушки в печи при температуре 105°C в течение 24 часов. рН был для всех образцов с использованием рН-метра Экотест-2000. Общее содержание органики определяли по потере сухой массы при прокаливании при 550°C . Растворенный органический углерод в навозе был получен путем встряхивания каждого образца при 200 об/мин с дистиллированной водой при соотношении навоза и воды 1:10 в течение 20 ч при 20°C , а затем суспензию центрифугировали при 10 000 об/мин в течение 20 мин. Надосадочную жидкость пропускали через стерильную мембрану толщиной 0,45 мм, и концентрации органики определяли с помощью анализатора. Общее содержание Р и микроэлементов в навозе определяли в сухих образцах. Все результаты представляли как среднее значение трех повторов и выражены в сухом весе. Состав исходных образцов приведен в таблице 1.



Таблица 1 – Состав исходных образцов

Свиной навоз						
Влажность, %	pH	C, г/кг сух. веса	Общее содержание органики, г/кг сух. веса	Ca, г/кг сух. веса	Mg, г/кг сух. веса	Общий P, г/кг сух. веса
85-95	6,75	10,3	485,12	22,83	7,63	16,96

Распределение частиц по размерам в каждой серии анализировали методом последовательного мокрого просеивания. Частицы свиного навоза в основном составляли менее 100 мкм, в то время как в нескольких образцах было обнаружено, что в свином навозе также были частицы размером более 1000 мкм. Основываясь на полученных результатах, использовали сита с размерами ячеек 1000, 250, 75 и 38 мкм. Размер сита 38 мкм был выбран как наименьший из-за практического ограничения эффективности просеивания. Для мокрого просеивания использовалась дистиллированная вода. В конце процедуры фракционирования частицы размером от 0 до 38 мкм оставались в воде и собирались в поддон на дне сита. Для частиц размером от 0 до 38 мкм брали пробы из лотка после того, как образец был тщательно перемешан. Все просеянные образцы после обработки взвешивали. Степень извлечения каждого образца была рассчитана на основе содержания сухого вещества и составляла 86-90 %

Фосфор был последовательно извлечен из образцов, подвергнутых холодной сушке, методом фракционирования фосфора в почве, который широко использовался для оценки содержания фосфора в почвах и его биодоступности.

Различные фракции фосфора в почве имеют совершенно разные химические характеристики. $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ слабо адсорбируется на поверхности и хорошо растворим при любых условиях, что может отражать потенциальную подвижность P. Al-P и Fe-P связаны с поверхностью оксидов или гидроксидов металлов и считаются доступными для растений в качестве потенциально реакционно-способного P. Ca-P в основном связан с кальциевыми минералами. Поглощенный фосфор плохо биодоступен из-за защиты пленкой оксида железа.

Результаты исследований и их обсуждение

Содержание каждой формы фосфора, выделяемого из свиного навоза (табл. 2) было значительно выше, чем в почвах, которые варьировались от 4 до 110 мг/кг.

Таблица 2 – Фракции фосфора и характеристики сырого и обработанного навоза (среднее значение (стандартное отклонение))

Показатели	Сырой навоз до обработки	Навоз через 30 дней	
		замораживание	замораживание-оттаивание
Содержание различных форм фосфора (г/кг):			
$\text{NH}_4\text{Cl-P}$	6,62(0,42)	5,20(0,10)	8,92(0,19)
Al-P	2,49(0,19)	4,39(0,02)	3,07(0,13)
Fe-P	3,79(0,04)	3,26(0,05)	3,73(0,20)
поглощенный-P	1,47(0,26)	1,38(0,09)	0,77(0,02)
Ca-P	0,41(0,01)	0,38(0,01)	0,29(0,01)
остаточный-P	0,44(0,02)	0,2(0,01)	0,20(0,02)
Размеры частиц (%):			
>1000 мкм	48,21	48,16	42,25
250-1000 мкм	13,85	13,63	13,07
75-250 мкм	3,77	5,41	5,57
38-75 мкм	4,88	4,63	7,95
<38 мкм	29,30	28,17	31,15
Содержание органического углерода, г/кг	10,49(0,07)	10,79(0,05)	13,56(0,08)
pH	6,25(0,05)	6,45(0,01)	5,77(0,01)

Среди всех форм фосфора, содержащихся в сыром свином навозе, $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ был самым высоким, составляя 43,14 % от общего количества. Fe-P и Al-P заняли второе и третье места, составляя 25,08 % и 16,48 % от общего количества, соответственно. Содержание Ca-P и остаточного-P

было самым низким, составляя менее одной десятой от содержания $\text{NH}_4\text{Cl-P}$. Высокий уровень различных форм P в свином навозе может быть связан с содержанием корма для животных. Зерновые и шроты из масличных культур являются основными ингредиентами кормов для животных



и содержат фосфор в форме фитата. Однако свиньи не могут эффективно использовать фитат из-за низкого уровня фитазы в их пищеварительном тракте. Так, примерно 70 % потребляемого фосфора выводилось с навозом при выращивании свиней на откорме

Для улучшения усвоения фосфора в корм обычно добавляют минеральные добавки. Это повышает общую эффективность усвоения фосфора животными всего на 10-20 %. Непереваренный фосфор может соединяться с другими питательными элементами, такими как K, Fe, Ca, Mg и Al, препятствуя усвоению этих минералов свиньями и приводя к высокой концентрации различных форм фосфора в навозе.

Только замораживание и замораживание-оттаивание изменили содержание Р-фракций в навозе по сравнению с таковыми в сыром навозе. После 30 дней в навозе содержание Al-P увеличилось на 76,47 %, по сравнению с содержанием в сыром навозе, в то время как содержание других форм фосфора снизилось, особенно содержание $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ и остаточного-Р снизилось на 20,16 % и 53,71 % соответственно. Однако содержание $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ и Al-P в образцах с замораживанием-оттаиванием существенно увеличилось на 36,82 % и 23,12 %, соответственно, по сравнению с таковым в сыром навозе. Показатели Ca-P (47,38 %), поглощенный-Р (29,56%) и остаточный-Р (55,19%) при замораживании-оттаивании были выше, чем только при замораживании. Как правило, изменения в формах Р были более выражены при замораживании-оттаивании.

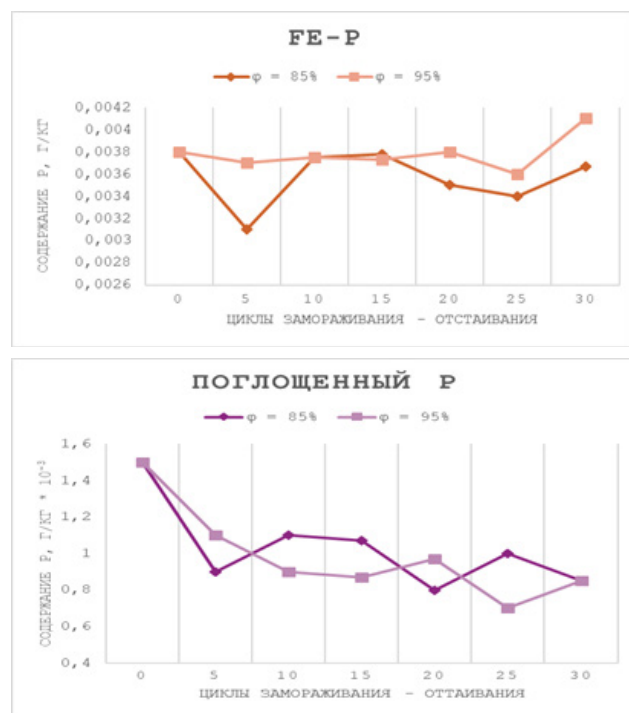
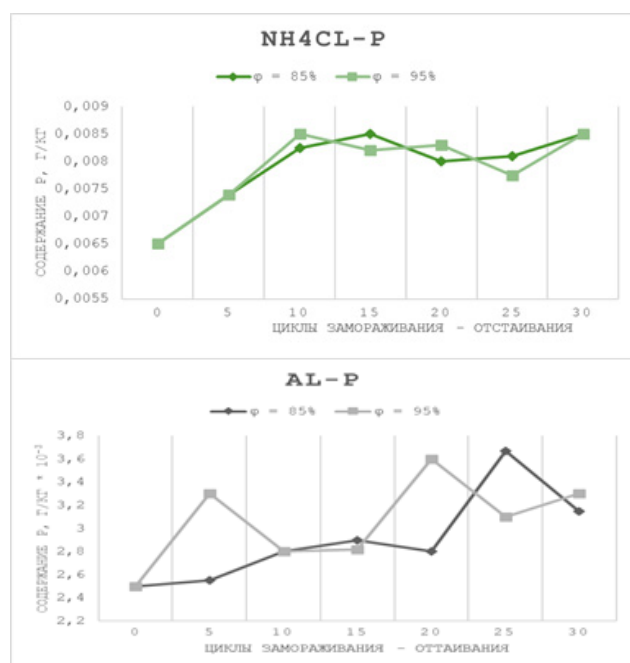
Изменения в размере частиц навоза могут напрямую отражать изменения в структуре навоза. Распределение частиц по размеру при замораживании-оттаивании отличалось от их соотношения в сыром навозе. В образце сырого навоза распределение частиц по размерам показало наличие двух основных фракций, а именно частиц разме-

ром >1000 мкм и <38 мкм, что составило 48,21 % и 29,29 % от общей массы навоза, соответственно. Однако после 30 дней применения замораживания-оттаивания доля частиц размером >1000 мкм уменьшилась на 5,95 %, в то время как доля частиц размером 75-250 мкм, 38-75 мкм и <38 мкм увеличилась на 1,80 %, 3,07 % и 1,86 %, соответственно, по сравнению с этими фракциями в сыром навозе. Эти изменения указывают на то, что процесс замораживания и оттаивания привел к расщеплению частиц размером более 1000 мкм на частицы размером менее 250 мкм.

Разрушение частиц во время циклов замораживания-оттаивания может быть связано с расширением и сжатием воды, вызванными колебаниями температуры, которые могут создавать сдвигающие усилия для расщепления крупных частиц. Органическое вещество в свином навозе состоит из биоразлагаемых соединений, таких как белки, аминокислоты и жирные кислоты. Агрегаты навоза, состоящие из этих соединений, могут быть разложены микробами на более мелкие частицы. В результате в образцах после замораживания-оттаивания отчетливо наблюдалось общее изменение размера частиц в сторону частиц размером менее 250 мкм

По сравнению с циклами замораживания-оттаивания, в цикле замораживания не было процесса оттаивания, что препятствовало распространению микропор, возникавших при последовательном перемешивании. Это приводит к меньшему разрушению частиц навоза.

Подвижность и биодоступность фосфора в навозе зависят от его формы. Чтобы исследовать, как циклы замораживания-оттаивания влияют на превращения фосфора в навозе, в течение всего эксперимента измеряли различные формы фосфора в образцах с различной влажностью навоза (рис. 1).



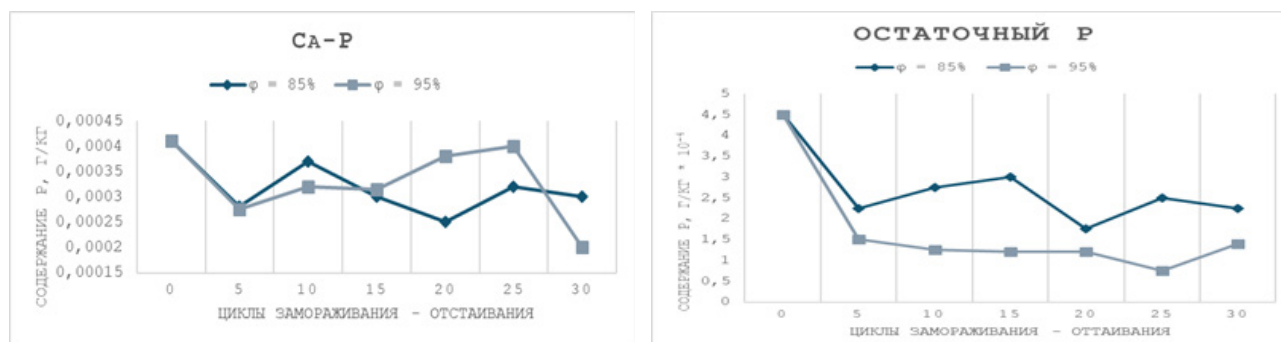


Рис. 1 – Концентрации различных форм фосфора в навозе в ходе циклов замораживания-оттаивания
Fig.1 – Concentrations of different forms of phosphorus in manure during freeze-thaw cycles

Во время проведения циклов замораживания-оттаивания наблюдались сходные закономерности как в образцах с низкой, так и в образцах с высокой влажностью навоза: содержание $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ быстро увеличивалось в течение первых 10 циклов, а затем оставалось относительно стабильным; Al-P имело тенденцию к увеличению на протяжении всего эксперимента; содержание Ca-P , поглощенного-Р и остаточного-Р уменьшалось с течением времени. Соотношение Fe-P незначительно увеличилось за 30 циклов. В целом, более значительные изменения произошли в течение первых 10 циклов. Самое большое различие между обработками образцов с низкой и высокой

влажностью состояло в более сильном снижении остаточного-Р при обработке навоза, имеющего высокую влажность.

Изменения в концентрациях Р продемонстрировали, что во время циклов замораживания-оттаивания происходили трансформации между формами Р. Превращения Р тесно связаны с изменениями физико-химических свойств среды и условиями окружающей среды. В осадке Ca-P в основном состоит из апатита фосфора и фосфора, связанного с карбонатами, что указывает на то, что Ca-P чувствителен к условиям низкого pH. В исследовании pH контролировался во время циклов замораживания-оттаивания (рис. 2).

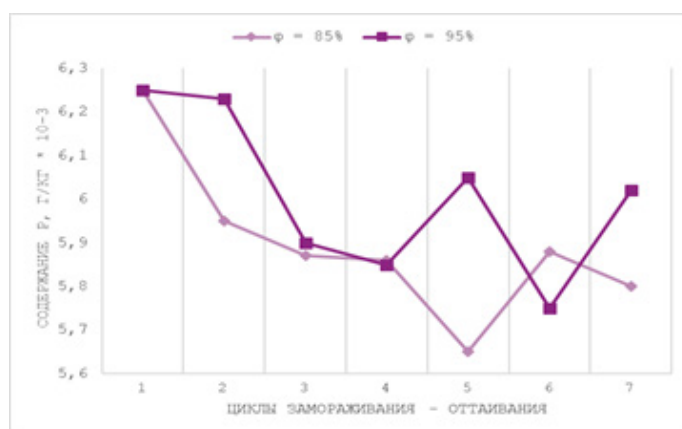


Рис. 2 – Изменения значений pH во время циклов замораживания-оттаивания
Fig.2 – Changes in pH values during freeze-thaw cycles

Можно отметить, что pH снизился с 6,25 до 5,65 для образцов с низкой влажностью и с 6,26 до 5,72 для образцов с высокой влажностью. Низкие значения pH соответствуют диапазону, в котором Ca-P растворим. Таким образом, снижение содержания Ca-P во время циклов размораживания-оттаивания объяснялось растворением Р, связанного с карбонатами. Поглощенный-Р и остаточный-Р обладают низкой биодоступностью, не поддаются легкому изменению и считаются стабильными формами Р в почвах и отложениях. Однако результаты показали очевидное снижение показателей поглощенного-Р и остаточного-Р во

время замораживания-оттаивания.

В настоящем исследовании снижение поглощенного-Р в навозе может быть объяснено минерализацией части органического Р микроорганизмами. Изменения поглощенного-Р были более значительными в образцах с высокой влажностью, чем в образцах с низкой влажностью (рис. 1), возможно, из-за большей минерализации при более высоком уровне воды. Это может быть объяснено увеличением концентрации органического углерода во время циклов замораживания-оттаивания (рис. 3).

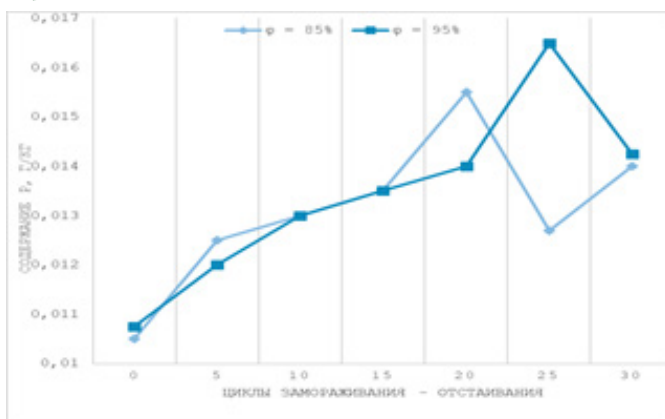


Рис. 3 – Изменения значений концентраций растворенного органического углерода во время циклов замораживания-оттаивания
Fig.3 – Changes in dissolved organic carbon concentrations during freeze-thaw cycles

Циклы замораживания-оттаивания могут разрушать агрегаты в почве и убивать микробные клетки, что впоследствии приводит к высвобождению органического углерода и, в свою очередь, стимулирует активность микроорганизмов.

Диапазон pH навоза (5,65–6,25) способствует накоплению Al-P и Fe-P. Кроме того, измельчение частиц навоза во время циклов замораживания-оттаивания способно увеличивать площадь по-

верхности частиц, что может улучшить контакт между фосфатными анионами и металлом Al/Fe, способствуя тем самым образованию Al-P и Fe-P.

Чтобы выяснить влияние влажности навоза и частоты циклов замораживания-оттаивания на распределение размеров частиц, были проанализированы два набора образцов навоза с различным содержанием влаги (85 % и 95 %) (рис. 4а,б).

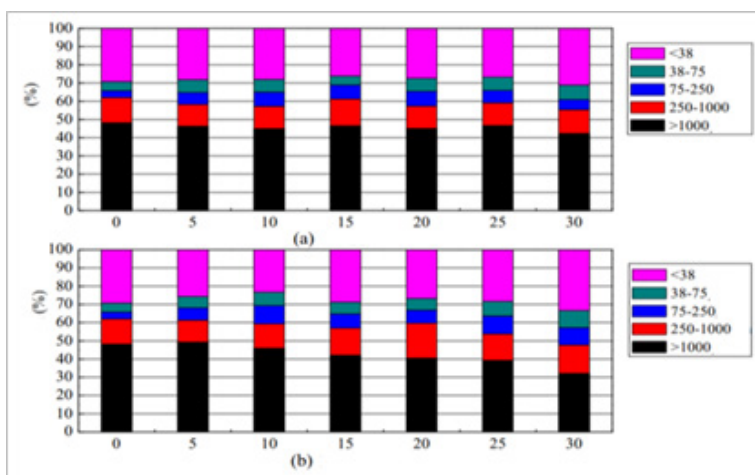


Рис. 4 – Разделение фракций различных размеров частиц (мкм) навоза влажностью: а) 85 %, б) 95 %
Fig.4 – Separation of fractions of different particle sizes (μm) of manure with humidity: а) 85 %, б) 95 %

В обоих типах навоза доля частиц >1000 мкм уменьшалась с увеличением частоты циклов замораживания-оттаивания; доля частиц <38 мкм уменьшалась в течение первых 15 циклов, а затем увеличивалась; доли частиц других размеров колебались во время циклов. Как правило, частицы >1000 мкм были разбиты на частицы <250 мкм. Изменения в пропорциях частиц >1000 мкм и <250 мкм с увеличением частоты циклов были значительными в образцах с высоким содержанием влаги (95 %), тогда как никаких значимых связей не наблюдалось в образцах с низкой влажностью (85 %). Эти различия предполагают, что воздействие циклов замораживания-оттаивания на частицы навоза было усилено за счет увеличения содержания влаги и частоты циклов. Более высокое содержание органического вещества может уменьшить расщепление частиц >1000 мкм, вызванное замораживанием и оттаиванием из-за увеличения адгезии между органическими материалами. Однако доля частиц >1000 мкм в

навозе постоянно уменьшалась в ходе процесса замораживания-оттаивания, несмотря на высокое содержание органического вещества в навозе. Это может быть связано с особыми компонентами органического вещества навоза. Органическое вещество в свином навозе в основном состоит из легко растворимых или разлагаемых органических веществ, таких как белки, целлюлоза, лигнин, аминокислоты и жирные кислоты, которые могут легко разлагаться микробами и редко обеспечивают достаточную силу сцепления для предотвращения давления расширения от вспучивания при замерзании. Результаты также показали, что разрушение частиц навоза происходило по всем циклам замораживания-оттаивания, как это наблюдалось в образцах с высокой влажностью. Во время одного цикла замораживания-оттаивания расширение воды из-за образования льда могло расширить микротрещины в навозе и создать новые микротрещины на стадии замерзания. На последней стадии оттаивания талая вода теплая и



заполняла микропоры и новые микротрещины в навозе.

Заключение

Сырой свиной навоз имел высокое содержание различных форм Р из-за низкого усвоения пищевого Р животными. По сравнению с обработкой только замораживанием, циклы замораживания-оттаивания вызывали более существенные изменения в формах Р навоза, распределении размеров частиц, содержании органического углерода и значении pH после 30 циклов. Эти результаты свидетельствуют о том, что структура и физико-химические свойства навоза животных будут меняться более резко в регионах сезонного замораживания-оттаивания, чем в регионах длительного замораживания. Кроме того, установлено, что Са-Р, поглощенный-Р и остаточный-Р в навозе могут быть преобразованы в $\text{NH}_4\text{Cl-P}$, Al-P и Fe-P во время циклов замораживания-оттаивания, что приведет к увеличению биодоступности фосфора навоза более чем на 20 %. Кроме того, основные изменения в распределении частиц навоза показали, что частицы >1000 мкм были разбиты на частицы <250 мкм во время замораживания-оттаивания. Уменьшение размеров было усилено более высоким содержанием влаги в навозе и частотой циклов замораживания-оттаивания. Распределение Р в различных частицах показало, что большая часть Р навоза была сосредоточена внутри частиц <38 мкм, которые, вероятно, были основными источниками потерь навоза, вызванных талой водой. Кроме того, доля частиц навоза <38 мкм увеличилась более чем на 2 % после 30 циклов. Эти результаты свидетельствуют, что циклы замораживания-оттаивания могут усилить мобилизацию частиц навоза и связанного с частицами Р. Поэтому задачами дальнейших исследований является изучение миграции Р навоза и методов предотвращения потерь Р навоза во время хранения зимой.

Список источников

1. Kolesnikova, T., Kulikova, M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2020.

- №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108

2. Колесникова, Т., Куликова, М. Анализ процесса коагуляции при реагентном фракционировании жидких отходов свинокомплексов // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2023, Т.15, №4, С.55-59, DOI:10.36508/RSATU/2023/71/29/008

3. Bechmann, M., Kleinman, P. et al. Freeze–Thaw Effects on Phosphorus Loss in Runoff from Manured and Catch-Cropped Soils // *Journal of Environment Quality*.-2005.- 34(6)- DOI:10.2134/jeq2004.0415

4. Wang, K., He, C. et al. Transformation of organic matters in animal wastes during composting // *Journal of Hazardous Materials* 300.- 2015.- DOI:10.1016/j.jhazmat.2015.08.016

5. King, T., Schoenau, J. et al. Relationship between Manure Management Application Practices and Phosphorus and Nitrogen Export in Snowmelt Run-off Water from a Black Chernozem Saskatchewan Soil // *Sustainable Agriculture Research*-2017.-Vol.2-P93-114-DOI: 10.22004/ag.econ.265148

6. Tomer, M., Moorman, T. et al. Eleven years of runoff and phosphorus losses from two fields with and without manure application, Iowa, USA // *Agricultural Water Management*.-2016.-Vol.168,-P.104–111. doi:10.1016/j.agwat.2016.01.011

7. Hinman, W. Effects of freezing and thawing on some chemical properties of 3 soils // *Canadian Journal of Soil Science*.-1970-Vol. 50(2)-P.179-182

8. Yang, K., Wang, X. et al. Effects of physical aging processes on the bioavailability of heavy metals in contaminated site soil amended with chicken manure and wheat straw biochars // *Environmental Pollution*.- 2023.-Vol.324.- DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121414

9. Sheikholeslami, R., Golkar, M. et al. Large uncertainty in global estimates of manure phosphorus runoff // *Environmental Pollution*.-2024.-Vol.177.-DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106067

10. Dadrassia, A., Bona Muñoz, I. et al. Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration // *Journal of Cleaner Production*.- 2021.-Vol.315.- DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128106

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Kolesnikova, T., Kulikova, M. et al. Ammophos efficiency application for treatment highly concentrated by biogenic elements wastes of agro-industrial complexes // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2020. - №579.- DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032108

2. Kolesnikova, T., Kulikova, M. Analiz protsessy koagulyatsii pri reagentnom fraktsionirovanii zhidkikh otkhodov svinokompleksov // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2023, T.15, №4, S.55-59. DOI:10.36508/RSATU/2023/71/29/008

3. Bechmann, M., Kleinman, P. et al. Freeze–Thaw Effects on Phosphorus Loss in Runoff from Manured and Catch-Cropped Soils // *Journal of Environment Quality*.-2005.- 34(6)- DOI:10.2134/jeq2004.0415

4. Wang, K., He, C. et al. Transformation of organic matters in animal wastes during composting // *Journal of Hazardous Materials* 300.- 2015.- DOI:10.1016/j.jhazmat.2015.08.016

5. King, T., Schoenau, J. et al. Relationship between Manure Management Application Practices and Phosphorus and Nitrogen Export in Snowmelt Run-off Water from a Black Chernozem Saskatchewan Soil //



Sustainable Agriculture Research-2017.-Vol.2-P93-114-DOI: 10.22004/ag.econ.265148

6. Tomer, M., Moorman, T. et al. Eleven years of runoff and phosphorus losses from two fields with and without manure application, Iowa, USA// *Agricultural Water Management*.-2016.-Vol.168,-P.104–111. doi:10.1016/j.agwat.2016.01.011

7. Hinman, W. Effects of freezing and thawing on some chemical properties of 3 soils// *Canadian Journal of Soil Science*.-1970-Vol. 50(2)-P.179-182

8. Yang, K., Wang, X. et al. Effects of physical aging processes on the bioavailability of heavy metals in contaminated site soil amended with chicken manure and wheat straw biochars // *Environmental Pollution*.-2023.-Vol.324.- DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121414

9. Sheikholeslami, R., Golkar, M. et al. Large uncertainty in global estimates of manure phosphorus runoff // *Environmental Pollution*.-2024.-Vol. 177.-DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106067

10. Dadrasnia, A., Bona Muñoz, I. et. al. Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration// *Journal of Cleaner Production*.-2021.-Vol.315.- DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128106

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

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

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

Author Information

Kolesnikova Tatyana A., Senior Lecturer, Department of Ecology and Industrial Safety, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platov, tanechka-ko1986@yandex.ru

Kulikova Marina A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platov, my7rysyk@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 27.01.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 55-61
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.55-61

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.879.25
DOI: 10.36508/RSATU.2025.86.11.008

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ВИДОВ КОМПОСТА НА ОСНОВЕ
ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА**

Марина Павловна Макарова¹✉, Дмитрий Валериевич Виноградов², Светлана Давлетовна Карякина³

¹ Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области, г. Рязань, Россия

^{2,3} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ assistant_84@mail.ru

² vdv-rz@rambler.ru

³ karyakina.sd@yandex.ru

Аннотация

Проблема и цель. Цель настоящего исследования – оценить действие компоста на основе осадка сточных вод на агроценозы подсолнечника в условиях Рязанской области.

Методология. Исследования выполняли в условиях Рязанской области в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта. Объект исследований – подсолнечник сорта Посейдон 625. Для реализации цели исследований были проведены фенологические наблюдения, измерения морфометрических параметров, оценка показателей структуры урожая, статистическая обработка данных и их дисперсионный анализ.

Результаты. В результате агроэкологической оценки компоста в агроценозах подсолнечника на опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ в условиях 2024 года выявлено, что применение компоста в качестве органоминерального удобрения не отразилось на сроках наступления фенологических фаз и продолжительности вегетационного периода, способствовало увеличению морфометрических показателей и элементов структуры урожая, а также урожайности на 4,2-6,6 ц/га. Максимальная прибавка урожая 29,9 % была получена при применении в качестве органоминерального удобрения необработанного компоста в дозе 15 т/га.

Заключение. Результаты исследований позволили оценить действие компостов на основе осадка сточных вод на рост и развитие растений подсолнечника сорта Посейдон 625.

Ключевые слова: подсолнечник, компост, осадки сточных вод, цеолит

Для цитирования: Макарова М.П., Виноградов Д.В., Карякина С.Д. Агроэкологическая оценка действия видов компоста на основе осадка сточных вод на продуктивность подсолнечника // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1. С. 55-61. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.86.11.008>

Original article

**AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE EFFECT OF COMPOST TYPES BASED ON SEWAGE
SLUDGE ON SUNFLOWER PRODUCTIVITY**

Marina P. Makarova¹✉, Dmitry V. Vinogradov², Svetlana D. Karyakina³

¹ Ministry of Agriculture and Food of the Ryazan Region, Ryazan, Russia

^{2,3} Ryazan State Agro-Technical University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ assistant_84@mail.ru

² vdv-rz@rambler.ru

³ karyakina.sd@yandex.ru

Abstract

Problem and purpose. The purpose of this study is to evaluate the effect of compost based on sewage sludge on sunflower agroecosystems in the conditions of the Ryazan region.



Methodology. The research was carried out in the conditions of the Ryazan region in accordance with the generally accepted methodology of field experiment. The object of the research is sunflower variety Poseidon 625. To achieve the goal of the research, phenological observations, measurements of morphometric parameters, assessment of yield structure indicators, statistical data processing and their dispersion analysis were carried out.

Results. As a result of the agroecological assessment of compost in sunflower agrocenoses at the experimental agrotechnological station of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ryazan State Agrarian University in the conditions of 2024, it was revealed that the use of compost as an organomineral fertilizer did not affect the timing of the onset of phenological phases and the duration of the growing season, contributed to an increase in morphometric indicators and elements of the crop structure, as well as yield by 4.2-6.6 c/ha. The maximum yield increase of 29.9% was obtained when using untreated compost as an organomineral fertilizer at a dose of 15 t/ha.

Conclusion. The results of the research made it possible to evaluate the effect of composts based on sewage sludge on the growth and development of sunflower plants of the Poseidon 625 variety.

Key words: sunflower, compost, sewage sludge, zeolite

For citation: Makarova M.P., Vinogradov D.V., Karyakina S.D. Agroecological assessment of the effect of compost based on sewage sludge on sunflower agrocenosis // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P. 55-61 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.86.11.008>

Введение

В настоящее время в связи с постоянным ростом цен на минеральные удобрения и дефицитом органических удобрений все большую актуальность приобретает экологически обоснованное вовлечение в биологический круговорот вторичных ресурсов [3,7,17]. В научной литературе достаточно большое количество работ содержит результаты исследований действия осадков сточных вод (ОСВ) на агрохимические и агрофизические свойства почв, состав и активность почвенных микроорганизмов, продуктивность лесных и сельскохозяйственных растений [10,11,13,14,15].

Однако, помимо высокого содержания макро- и микроэлементов, в состав ОСВ входят значительные количества тяжелых металлов и других поллютантов, что определяет необходимость разработки технологических приемов, способствующих их детоксикации и безопасному использованию в агроценозах [8,7].

В качестве сорбентов, применяемых для предотвращения поступления загрязняющих веществ в почву и растения, целесообразнее всего использовать природные цеолиты, обладающие высокой ионообменной способностью за счет значительного содержания в их составе соединений кремния и алюминия [1].

Сорбционные свойства цеолитов достаточно хорошо изучены, но при условии их использования в такой динамической системе, как почва, необходимо учитывать не только постоянное изменение физико-химических параметров почвенного раствора, но и действие на агроценозы факторов окружающей среды, биотических и антропогенных факторов [16].

Природные цеолиты отличаются относительной дешевизной и доступностью, а также уни-

кальностью химического состава и сорбционных свойств, что обуславливает несомненный интерес к изучению их действия на агроценозы при использовании совместно с органоминеральными удобрениями на основе ОСВ [2,5,6,9].

Цель исследований – оценить действие видов компоста на основе ОСВ на агроценозы подсолнечника в условиях Рязанской области.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ, расположенной в с. Стенькино Рязанского района Рязанской области.

По данным ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская» серая лесная тяжелосуглинистая почва опытного участка отличалась средней обеспеченностью гумусом (3,5 %), соединениями фосфора (15,8 мг/100 г почвы) и калия (13,5 мг/100 г почвы), среднекислой реакцией почвенного раствора (рН – 5,5).

Полевой опыт проведен по методике Госсортоиспытания сельхозкультур и методике в изложении

Б.А. Доспехова [4]. Опытные делянки площадью 100 м² располагались систематически в трехкратной повторности. Схема опыта: 1. Контроль; 2. Компост (без обработок) – 15 т/га; 3. Компост (без обработок) 15 т/га + цеолит 3 т/га; 4. Компост-био (обработан биопрепаратом Экомик про В) – 12 т/га. В опыте использовали компосты на основе ОСВ, характеристика которых представлена в таблице 1, и цеолит Тербунского месторождения Липецкой области. Содержание элементов в цеолите можно представить следующим убывающим рядом: кремний > кобальт > алюминий > никель > железо > калий > молибден > цинк > магний > кальций > фосфор > сера > медь > натрий.

Таблица 1 – Агрохимическая и экотоксикологическая характеристика компостов на основе ОСВ

Наименование показателя	Компост (без обработок)	Компост-био (обработан биопрепаратом Экомик про В)
массовая доля влаги, %	61,80	42,20-53,00
массовая доля органического вещества, % (в пересчете на углерод)	22,6	14,6-21,7



Продолжение таблицы 1

pH _{сол.}	7,00	6,01-8,02
Н _{общ.} , %	3,90	1,80-3,60
P ₂ O ₅ общ., %	3,00	1,00-3,60
K ₂ O общ., %	0,33	0,31-0,42
Pb (вал.), мг/кг	302,80	56,30-210,20
Zn (вал.), мг/кг	627,40	92,40-488,50

Агротехнические мероприятия проводили по общепринятым методикам в оптимальные сроки. Исследуемые органоминеральные удобрения вносили при проведении предпосевной культивации.

Для посева использовали семена подсолнечника сорта Посейдон 625. Сеяли подсолнечник 15 мая 2024 года пунктирным способом на глубину заделки семян 2-4 см. Норма высева составила 45,0 тыс. всхожих семян на 1 га. По вегетации посевы подсолнечника были обработаны против сорной растительности гербицидом Галошанс, КЭ (1 л/га) и против вредителей инсектицидом Фастак, КЭ (0,15 кг/га). Уборку подсолнечника проводили 16 сентября 2024 года сплошным методом селек-

ционным комбайном TERRION-SAMPO SR2010 при влажности семян 15 % механизированно со всей учетной площади каждой делянки. После уборки маслосемена с каждой делянки взвешивали, затем проводили отбор единичных проб весом 0,5 кг каждая. В пробе определяли влажность. Учет урожая осуществляли после приведения его к 100 %-ой чистоте и стандартной влажности 10 % [12].

Для реализации цели исследований были проведены фенологические наблюдения, измерения морфометрических параметров, оценка показателей структуры урожая (рис. 1). Полученные данные обрабатывались математически посредством дисперсионного анализа.



Рис. 1 – Этапы проведения исследований и мониторинг опытных посевов подсолнечника

Fig. 1 – Stages of research and monitoring of experimental sunflower crops

Результаты исследований и их обсуждение

Погодные условия, сложившиеся в течение вегетационного периода подсолнечника в 2024 году, значительно отличались от средних многолетних данных (рис. 2). Весна в 2024 году характеризовалась холодной погодой с частными осадками. Лето наступило раньше сроков (26 мая) и длилось 129 дней (до 1 октября), что на 23 дня больше среднемноголетних значений. Гидротермический коэффициент составил 1,0-1,1, что соответствует слабозасушливой зоне увлажнения.

Проведенные наблюдения показали, что при-

менение исследуемых органоминеральных удобрений не отразилось на сроках наступления и продолжительности фенологических фаз развития растений подсолнечника. В третьей декаде апреля и первой декаде мая сложилась аномально холодная и дождливая погода, поэтому сев подсолнечника проводили только 15 мая. Появление всходов отмечалось через 13 дней – 28 мая. В дальнейшем жаркая и сухая погода способствовала уменьшению продолжительности межфазных периодов развития растений подсолнечника, и в целом вегетационный период составил 103 дня.

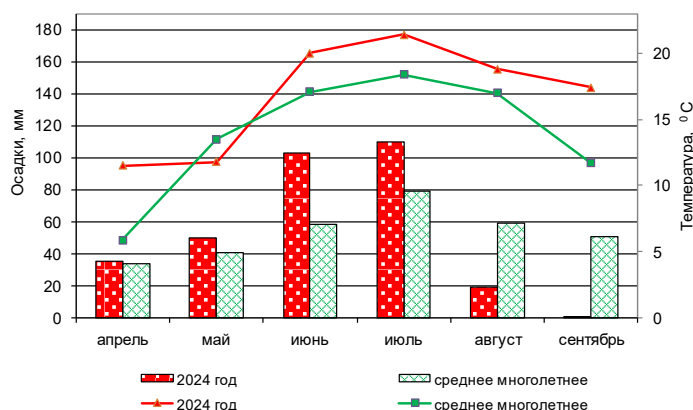


Рис. 2 – Метеорологические условия вегетационного периода 2024 года

Fig. 2 – Meteorological conditions of the vegetation period 2024

Применение компоста в качестве органоминерального удобрения оказало влияние на морфометрические параметры растений подсолнечника (табл. 2). В варианте с необработанным компостом отмечалась наибольшая высота растений – 166,7 см (+4,4 % к контролю), в варианте с внесением смеси компоста и цеолита – наименьшая высота растений (142,3 см). Следует отметить, что растения данного варианта, несмотря на свою низкорослость, имели более утолщенные стебли и более развитый листовой аппарат. Площадь ассимиляционной поверхности достигла 23,4 тыс.м²/га. Превышение к контролю составило 13,0 %, а к варианту с необработанным осадком – 1,7 %.

В варианте с компостом, обработанным биопрепаратом Экомик про В, растения были ниже, чем на контроле на 4,0 %, а площадь ассимиляционной поверхности, напротив, превышала контроль на 5,8 %.

Процесс формирования листового аппарата у

растений является важным показателем, оказывающим существенное влияние на величину урожая сельскохозяйственных культур. В опыте усиление фотосинтетической деятельности в результате применения органоминеральных удобрений создало предпосылки для накопления сухого вещества, что определило высокую продуктивность посевов. Так, положительное действие исследуемых органоминеральных удобрений на развитие вегетативных органов растений подсолнечника привело к формированию более крупных корзинок. При применении необработанного компоста средний диаметр корзинки достиг 34 см, что на 56,7 % превышало контрольный вариант.

Наблюдения за количеством семян в корзинке и массой 1000 семян выявили увеличение данных показателей в опытных вариантах на 9,6-15,7 % и 5,4-7,6 %, соответственно. Показатели в вариантах с необработанным компостом и смесью компоста и цеолита были наибольшими, но не имели между собой существенных различий.

Таблица 2 – Морфометрические параметры растений подсолнечника и структура урожая

Вариант	Высота растений, см	Площадь листовой поверхности, тыс.м ² /га	Диаметр корзинки, см	Количество семян в корзинке, шт.	Масса 1000 семян, г
1. Контроль	159,7±2,5	20,7±0,4	21,7±0,6	916,7±12,5	57,6±0,3
2. Компост (без обработок) – 15 т/га	166,7±2,1	23,0±0,3	34,0±0,5	1059,7±4,5	62,0±0,2
3. Компост (без обработок) 15 т/га + цеолит 3 т/га	142,3±3,1	23,4±0,3	33,7±0,3	1060,7±5,6	61,7±0,2
4. Компост-био (обработан биопрепаратом Экомик про В) – 12 т/га	153,3±1,8	21,9±0,2	28,6±0,4	1005,0±10,7	60,7±0,5

Растения опытных вариантов отличались более развитым ассимиляционным аппаратом, большим размером и лучшей обсемененно-

стью корзинок, что обусловило получение существенной прибавки урожайности – 4,2-6,6 ц/га (19,0-29,9 %) по сравнению с контрольным вари-



антом (рис. 3). Внесение компоста, обработанного биопрепаратом Экомик про В, позволило получить наименьшую прибавку урожая – 4,2 ц/га. Наиболь-

шая урожайность отмечалась в варианте с необработанным осадком – 28,7 ц/га

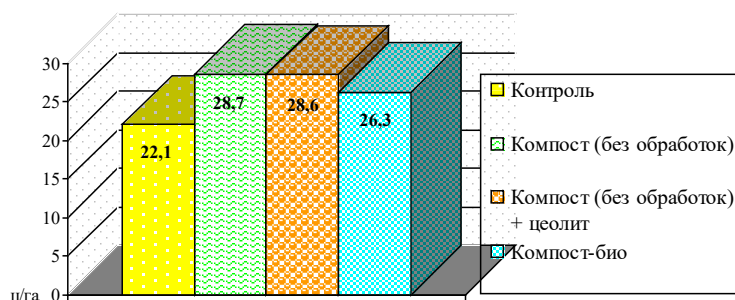


Рис. 3 – Урожайность подсолнечника по вариантам опыта, ц/га
Fig. 3 – Sunflower yield according to experimental options, c/ha

НСР₀₅, ц/га, взаимодействия АВ – 2,88

Таким образом, фенологические наблюдения и учет урожая показали, что применение исследуемых органоминеральных удобрений способствовало лучшему развитию растений подсолнечника в полевых условиях и существенному повышению урожайности маслосемян. Использование компоста на основе ОСВ в качестве органоминерального удобрения в чистом виде и в смеси с цеолитом привело к формированию более мощного ассимиляционного аппарата; увеличению морфометрических параметров корзинок, количества семян в них и массы семян, что в конечном итоге отразилось на урожайности. Наиболее эффективным было внесение необработанного компоста в дозе 15 т/га. Урожайность составила 28,7 ц/га – плюс 6,6 ц/га к контрольному варианту.

Заключение

В результате агроэкологической оценки компостов на основе ОСВ в агроценозах подсолнечника на опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО РГАТУ в условиях 2024 года выявлено:

- применение компостов в качестве органоминерального удобрения не оказало влияния на сроки наступления фенологических фаз развития растений подсолнечника и продолжительность вегетационного периода, который составил 103 дня;
- в опытных вариантах отмечалось увеличение морфометрических показателей и элементов структуры урожая, а также урожайности на 4,2-6,6 ц/га;
- максимальная прибавка урожая 29,9 % была получена при применении в качестве органоминерального удобрения необработанного компоста в дозе 15 т/га.

Список источников

1. Алексеев, А.И. Изменение гумусового состояния почвы и урожайности сельскохозяйственных культур на фоне природных цеолитов и удобрений / А.И. Алексеев, Е.Н. Кузин, А.Н. Арефьев, Е.Е. Кузина // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 5. – С. 3-7.
2. Виноградов, Д.В. Агроэкологическое действие осадка сточных вод и его смесей с цеолитом на агроценозы масличных культур / Д. В. Виноградов, В. М. Василева, М. П. Макарова, Е.И. Лупо-

ва и др.// Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 127-133. – DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-127-133.

3. Володина, О.А. Анализ проблемы переработки осадков сточных вод / О.А. Володина // Поволжский научный вестник. – 2019. – № 1. – С. 31-37.

4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст]. – 5-е изд., доп. и перераб. / Б.А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

5. Зубкова, Т. В. Влияние органических удобрений и природного цеолита на содержание пигментов и урожайность растений рапса сорта Риф / Т. В. Зубкова, О. А. Дубровина, С. М. Мотылева // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 2(193). – С. 2-8. – DOI 10.32417/1997-4868-2020-193-2-2-8.

6. Зубкова, Т.В. Влияние органических удобрений и природного цеолита на морфометрические характеристики пыльцы *Brassica napus* / Т.В. Зубкова, Д.В. Виноградов // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 2(191). – С. 12-19.

7. Карякина, С.Д. Агроэкологическая эффективность аэробного компостирования осадков сточных вод при производстве органических удобрений / С.Д. Карякина, А.В. Карякин, В.А. Касатиков // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 3. – С. 14-18.

8. Касатиков, В.А. Последствие ОСВ и известкования на содержание подвижных форм металлов в пахотном слое почвы и их транслокацию в растительную продукцию / В.А. Касатиков, М.С. Чемерис, И.М. Яшин, А.А. Пескарев // Плодородие. – 2012. – № 5. – С. 45-47.

9. Макарова, М.П. Влияние сроков посева и минерального питания на продуктивность агроценозов подсолнечника в условиях Рязанской области / М.П. Макарова, Д.В. Виноградов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - №3. – С.9-16.

10. Макарова, М.П. Агроэкологические аспекты формирования агроценозов подсолнечника в условиях Рязанской области / М. П. Макарова, Д. В. Виноградов, Е. И. Лупова, И. С. Питюрина // Международный технико-экономический журнал. – 2017. – № 5. – С. 107-111.



11. Матюхин, М.С. Биологическая эффективность почвенного грунта на основе осадков стоячих вод при выращивании райграса однолетнего сорта «Изорский» / М.С. Матюхин, С.Д. Карякина, Е.С. Шершнева // Инновации в науке и практике: материалы VIII международной научно-практической конференции. В 5 частях. – Барнаул, 2018. – С.62-69.

12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. М.А. Федина. – М.: Колос, 1983. – Вып. 3. – 184 с.

13. Титова, Г.А. Действие и последствие осадков городских сточных вод и навоза КРС на урожайность сельскохозяйственных культур / Г.А. Титова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3(19). – С. 43-46.

14. Хабарова, Т.В. Агроэкологическая эффективность использования осадка сточных вод и вермикомпостов в агроценозе овса посевного / Т.В. Хабарова, Д.В. Виноградов, Б.И. Кочуров,

В.И. Левин, Н.В. Бышов // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т.3. – № 2. – С. 132-143.

15. Хабарова, Т.В. Выращивание экологически безопасной продукции при применении вермикомпостов / Т.В. Хабарова, В.И. Левин, С.Д. Карякина // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – №10. – С. 179-184.

16. Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. Pollen grains / T. Zubkova, S. Motyleva, O. Dubrovina [et al.] // *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. – 2022. – Vol. 54, No. 2. – P. 397-406. – DOI 10.54910/sabao2022.54.2.15.

17. The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers / V. A. Gulidova, T. V. Zubkova, V. A. Kravchenko, O. A. Dubrovina // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 17, No. 4. – P. 404-407. – DOI 10.3844/ojbsci.2017.404.407.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Alekseev, A.I. *Izmenenie gumusovogo sostoyaniya pochvy i urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur na fone prirodnnykh ceolitov i udobrenij* / A.I. Alekseev, E.N. Kuzin, A.N. Aref'ev, E.E. Kuzina // *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova*. – 2013. – № 5. – С. 3-7.

2. Vinogradov, D.V. *Agroekologicheskoe dejstvie osadka stochnykh vod i ego smesey s ceolitom na agroceozy maslichnykh kul'tur* / D. V. Vinogradov, V. M. Vasileva, M. P. Makarova, E.I. Lupova i dr.// *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. – 2019. – № 3. – С. 127-133. – DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-127-133.

3. Volodina, O.A. *Analiz problemy pererabotki osadkov stochnykh vod* / O.A. Volodina // *Povolzhskij nauchnyj vestnik*. – 2019. – № 1. – С. 31-37.

4. Dospekhov, B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Tekst]*. – 5-e izd., dop. i pererab. / B.A. Dospekhov. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

5. Zubkova, T. V. *Vliyanie organicheskikh udobrenij i prirodnogo ceolita na sodержание pigmentov i urozhajnost' rastenij rapsa sorta Rif* / T. V. Zubkova, O. A. Dubrovina, S. M. Motyleva // *Agrarnyj vestnik Urala*. – 2020. – № 2(193). – С. 2-8. – DOI 10.32417/1997-4868-2020-193-2-2-8.

6. Zubkova, T.V. *Vliyanie organicheskikh udobrenij i prirodnogo ceolita na morfometricheskie karakteristiki pyl'cy Brassica napus* / T.V. Zubkova, D.V. Vinogradov // *Vestnik KrasGAU*. – 2023. – № 2(191). – С. 12-19.

7. Karyakina, S.D. *Agroekologicheskaya effektivnost' aerobnogo kompostirovaniya osadkov stochnykh vod pri proizvodstve organicheskikh udobrenij* / S.D. Karyakina, A.V. Karyakin, V.A. Kasatkov // *Problemy agrohimii i ekologii*. – 2014. – № 3. – С. 14-18.

8. Kasatkov, V.A. *Posledejstvie OSV i izvestkovaniya na sodержание podvizhnykh form metallov v pahotnom sloe pochvy i ih translokaciyu v rastitel'nyu produkciju* / V.A. Kasatkov, M.S. Chemeris, I.M. YAshin, A.A. Peskarev // *Plodородie*. – 2012. – № 5. – С. 45-47.

9. Makarova, M.P. *Vliyanie srokov poseva i mineral'nogo pitaniya na produktivnost' agroceozov podsolnechnika v usloviyakh Ryazanskoj oblasti* / M.P. Makarova, D.V. Vinogradov // *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. – 2019. – №3. – С.9-16.

10. Makarova, M.P. *Agroekologicheskie aspekty formirovaniya agroceozov podsolnechnika v usloviyakh Ryazanskoj oblasti* / M. P. Makarova, D. V. Vinogradov, E. I. Lupova, I. S. Pityurina // *Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*. – 2017. – № 5. – С. 107-111.

11. Matyuhin, M.S. *Biologicheskaya effektivnost' pochvennogo grunta na osnove osadkov stoyanykh vod pri vyrashchivaniy rajgrasa odnoletnego sorta «Izorskiy»* / M.S. Matyuhin, S.D. Karyakina, E.S. Shershneva // *Innovacii v nauke i praktike: materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 5 chastyakh*. – Barnaul, 2018. – С.62-69.

12. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur / pod obshch. red. M.A. Fedina*. – M.: Kolos, 1983. – Vyp. 3. – 184 s.

13. Titova, G.A. *Dejstvie i posledejstvie osadkov gorodskih stochnykh vod i navoza KRS na urozhajnost'*



sel'skohozyajstvennyh kul'tur / G.A. Titova // *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. – 2012. – № 3(19). – S. 43-46.

14. Habarova, T.V. Agroekologicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya osadka stochnyh vod i vermikompostov v agrocenoze ovsa posevnogo / T.V. Habarova, D.V. Vinogradov, B.I. Kochurov, V.I. Levin, N.V. Byshov // *YUg Rossii: ekologiya, razvitie*. – 2018. – T.3. – № 2. – S. 132-143.

15. Habarova, T.V. Vyrashchivanie ekologicheski bezopasnoj produkcii pri primenenii vermikompostov / T.V. Habarova, V.I. Levin, S.D. Karyakina // *Problemy mekhanizacii agrohimicheskogo obespecheniya sel'skogo hozyajstva*. – 2016. – №10. – S. 179-184.

16. Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. Pollen grains / T. Zubkova, S. Motyleva, O. Dubrovina [et al.] // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. – 2022. – Vol. 54, No. 2. – P. 397-406. – DOI 10.54910/sabrao2022.54.2.15.

17. The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers / V. A. Gulidova, T. V. Zubkova, V. A. Kravchenko, O. A. Dubrovina // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2017. – Vol. 17, No. 4. – P. 404-407. – DOI 10.3844/ojbsci.2017.404.407.

Информация об авторах

Макарова Марина Павловна, канд. биол. наук, начальник отдела государственной поддержки предприятий АПК, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области, assistant_84@mail.ru

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

Карякина Светлана Давлетовна, канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», karyakina.sd@yandex.ru

Author Information

Makarova Marina P., Head of the Department of State Support of Agricultural Enterprises, Ministry of Agriculture and Food of the Ryazan Region, assistant_84@mail.ru

Vinogradov Dmitry V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, vdv-rz@rambler.ru

Karyakina Svetlana D., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, karyakina.sd@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 16.01.2024; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 638.144
DOI: 10.36508/RSATU.2025.22.39.009

**ВЛИЯНИЕ БЕЛКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОДКОРМКИ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ
СТАТУС РАБОЧИХ ПЧЕЛ. ЖИРОВОЕ ТЕЛО**

Елена Анатольевна Мурашова¹, Ольга Александровна Федосова² ✉, Ирина Николаевна Колчаева³, Юлия Владимировна Петряжникова⁴

^{1,2} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

^{1,3,4} ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства», г. Рыбное, Россия

¹ murashova.36@mail.ru

² fedosowa1986@mail.ru

³ anikanova1994@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Цель работы – сравнительная оценка влияния углеводных подкормок, включающих растительные компоненты, на физиологическое состояние рабочих пчел.

Методология. Научный опыт был проведен на базе Федерального научного центра пчеловодства. Исследования проводились в энтомологических садках. Экспериментальные группы формировались из генетически однородных суточных пчел. Они были распределены по энтомологическим садкам, в результате чего были сформированы контрольная и 3 опытных группы. Каждая из групп насчитывала по 250 особей, распределенных по 5 садкам. Контрольная группа подкармливалась сахарным сиропом, не обогащенным белковым компонентом. Первая, вторая и третья опытные получали комплексную подкормку на основе сиропа с использованием белковой и витаминной добавки: в первой группе – автолизат пекарских дрожжей, во второй – чистый порошок спирулины, в третьей были скомбинированы оба элемента с добавлением раствора витаминов группы В.

Результаты. Введение в подкормку белковых компонентов, таких как спирулина, автолизат пекарских дрожжей способствовало развитию жирового тела у исследуемых особей. Комбинирование компонентов по соотношению незаменимых аминокислот позволяет получить полноценную подкормку для повышения физиологического статуса рабочих пчел. В начале опыта развитие жирового тела у особей находилось примерно на одном уровне – 1,07 баллов. По завершению опыта данный показатель изменился: в контрольной группе – 1 балл, в первой опытной группе данный показатель составил 2,47 балла, во второй – 3,20 балла, в третьей – 3,73 балла.

Заключение. Ориентируясь на полученные данные, можно сделать вывод, что скормливание подкормок с белковыми компонентами оказывает положительное влияние на развитие у медоносных пчел жирового тела. Особенно важным моментом в кормлении пчел является наличие незаменимых аминокислот, а также их процентное соотношение в скормливаемом протеине.

Ключевые слова: углеводные подкормки, жировое тело, рабочие пчелы, спирулина

Для цитирования: Мурашова Е.А., Федосова О. А., Колчаева И.Н., Петряжникова Ю.В. Влияние белковых компонентов подкормки на физиологический статус рабочих пчел. Жировое тело // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С. 62-68 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.22.39.009>

Original article

**INFLUENCE OF PROTEIN COMPONENTS OF FEED ON THE PHYSIOLOGICAL STATUS OF
WORKER BEES. FAT BODY**

Elena A. Murashova¹, Olga A. Fedosova² ✉, Irina N. Kolchaeva³, Yulia V. Petryazhnikova⁴

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

^{1,3,4} Federal Scientific Center of Beekeeping, Rybnoye, Russia

¹ murashova.36@mail.ru² fedosowa1986@mail.ru³ anikanova1994@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. The purpose of the work was a comparative assessment of the influence of carbohydrate supplements, including plant components, on the physiological state of worker bees.

Methodology. The scientific experiment was conducted at the Federal Scientific Center for Beekeeping. The studies were conducted in entomological cages. The experimental groups were formed from genetically homogeneous day-old bees. They were distributed among the entomological cages, resulting in the formation of 3 experimental groups. Each of the groups consisted of 250 individuals, distributed among 5 cages. The first group acted as a control and was fed with sugar syrup, not enriched with a protein component. The first, second and third experimental ones received complex supplements based on syrup, using a protein and vitamin supplement, in the first group - baker's yeast autolysate, in the second - pure spirulina powder, in the third both elements were combined with the addition of a solution of B vitamins.

Results. The introduction of protein components such as spirulina and baker's yeast autolysate into the feed contributed to the development of the fat body in the studied individuals. Combining the components according to the ratio of essential amino acids allowed obtaining a complete feed to improve the physiological status of worker bees. At the beginning of the experiment, the development of the fat body in individuals was approximately at the same level - 1.07 points. At the end of the experiment, this indicator changed: in the control group - 1 point, in the first experimental group this indicator was 2.47 points, in the second - 3.20 points, in the third - 3.73 points.

Conclusion. Based on the data obtained, we can conclude that feeding feed with protein components has a positive effect on the development of the fat body in honey bees. A particularly important point in feeding bees is the presence of essential amino acids, as well as their percentage in the fed protein.

Key words: carbohydrate supplements, fat body, worker bees, spirulina

For citation: Murashova E.A., Fedosova O.A., Kolchaeva I.N., Petryazhnikova Yu.V. The influence of protein components of feed on the physiological status of worker bees. Fat body // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P.62-68 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.22.39.009>

Введение

Для полноценного функционирования пчелиной семье необходимо множество разнообразных веществ, получаемых преимущественно с кормами. В естественной среде обитания пчелы получают белковые вещества из пыльцы и перги, углеводы – из нектара и меда, однако, вследствие влияния погодных факторов, семья не всегда располагает достаточным количеством качественных кормов. В этом случае возникает необходимость восполнить их дефицит искусственными подкормками [1-7].

Существует ряд исследований, в которых подтверждается возможность замены природных источников питательных веществ альтернативными. Кроме того, была доказана эффективность скормливания искусственных кормов, обогащенных витаминами группы В, это связано с неспособностью организма пчелы синтезировать их самостоятельно. Такие корма положительно сказываются на качестве расплода и концентрации маточного молочка [8].

В качестве альтернативных источников питательных веществ можно использовать разные продукты, при этом наилучшие результаты наблюдаются при скормливания составных белковых смесей, сбалансированных таким образом, чтобы наиболее полноценно компенсировать развитие особей пчелиной семьей. Также важно обеспечить стабильность поступления кормовой смеси в организм пчелы, что подтверждается в работах Халида Али Хана и Зубайра Ахмада [9].

Разработка кормов для медоносных пчел

должна быть направлена на повторение фитохимического профиля, вкусовых качеств и функциональных свойств натуральной пыльцы и перги.

Микроводоросль спирулина является одним из наиболее оптимальных заменителей пыльцевой обножки. Этому способствует высокая концентрация в продукте незаменимых аминокислот, фосфолипидов, полиненасыщенных жирных кислот и стероидов, которые также в большом количестве содержатся в пыльце.

Спирулина (*Arthrospira*) – биомасса микроскопических фотосинтезирующих цианобактерий, образованных несколькими нитями, закрученными в форме спирали, из-за чего простейшее и получило свое название.

В природе спирулину можно встретить в щелочных озерах Африки и Китая, однако этого количества недостаточно для организации производства в промышленных масштабах, в связи с чем во многих регионах, в том числе в России, эта микроводоросль культивируется искусственно.

Ценность пищевых добавок обусловлена уникальным составом микроводоросли. Она содержит до 70 % белков, среди которых 18 аминокислот, как заменимых, так и незаменимых, множество витаминов, в частности витаминов группы В (тиамин, рибофлавин, пиридоксин), микроэлементов (кальций, железо, селен, цинк). Также порошок спирулины богат хлорофиллом и β -каротином. Около 8 % бактерий образовано жировой фракцией – линолевой, линоленовой, стеариновой кислотой. Крайне низкое содержание клетчатки в клеточных стенках спирулины положительно сказывается на

степени усвояемости вещества организмом.

Еще одним преимуществом порошка микроводоросли является низкая стоимость ее производства при высокой питательности конечного продукта, что также способствует росту популярности этой культуры.

На основе порошка спирулины производят пищевые добавки, используемые в рационе человека и в качестве подкормки для животных.

В качестве компонента для подкормок пчелиных семей микроводоросли *Spirulina platensis* и *Chlorella vulgaris* зарекомендовали себя как продукт, способный повысить продолжительность жизни рабочих особей, стимулировать яйцекладку, положительно повлиять на динамику силы семей в разные сезоны. Этот факт был подтвержден комплексом исследований.

Все происходящие в организме насекомого процессы во многом зависят от интенсивности обмена веществ, этот показатель находится в тесной зависимости от физиологического состояния внутренних органов, особое влияние оказывает на степень развития жирового тела.

Жировое тело у насекомых представляет собой рыхлую ткань, сформированную из клеток с крупными ядрами, цитоплазма которых содержит каплевидные включения жира, белка, гликогена [12].

Материалы и методы исследования

Научный опыт был проведен на базе Федерального научного центра пчеловодства. В качестве объектов исследования выступали генетически однородные рабочие пчелы. Исследования проводили в энтомологических садках. Группы формировали из расчета по пять энтомологических садков в каждой. Физиологическая особенность организма медоносных пчел в отличие от животных заключается в том, что они могут в большей мере запасать в теле протеин. Белок депонируется у пчел исключительно в жировом теле, а жир может откладываться и в других частях тела.

Следовательно, для того чтобы оценить эффективность применения белково-витаминных подкормок, необходимо контролировать развитие жирового тела.

Безопасность исследуемых подкормок и их влияние на степень развития жирового тела устанавливались путем проведения эксперимента. Для сохранения чистоты опыта необходимо поддерживать генетическую однородность задействованных в эксперименте пчел, важно, чтобы они происходили от одной матки, возраст исследуемых особей также должен быть одинаков.

Экспериментальные особи медоносных пчел были получены путем инкубации печатного расплода в термостате на протяжении двух суток. Температура в инкубаторе составила 35,0° С. Задействованные в исследовании подкормки подготавливались следующим образом: в сахарный сироп, концентрация которого составила 60 %, был добавлен протеиновый элемент, полученная смесь доводилась до состояния гомогенной массы, после перемешивания состав подкормки дополнили растворенным в дистиллированной воде

витаминным препаратом группы В. Соответствие концентрации сиропа заявленной в рецепте проверялось на рефрактометре ИРФ-454Б2М.

Экспериментальные группы формировались из генетически однородных суточных пчел. Они были распределены по энтомологическим садкам, по 5 особей в каждый, таким образом, были образованы одна контрольная и три опытных группы, по 5 садков в каждой. Готовые кормовые смеси давали в количестве 10 мл, кроме того, каждая группа была обеспечена водой (рис. 1).



Рис. 1 – Энтомологические садки с опытными пчелами и исследуемыми белково-витаминными подкормками.

Fig. 1 – Entomological cages with experimental bees and the protein-vitamin supplements being studied.

Контрольная группа получала в качестве подкормки чистый сахарный сироп, первая, вторая, третья опытные – сахарный сироп, обогащенный витаминным препаратом и белковой добавкой: в первой группе – автолизат пекарских дрожжей, во второй – чистый порошок спирулины, в третьей были скомбинированы оба элемента с добавлением раствора витаминов группы В.

Изучение степени развития жирового тела проводили на стереоскопическом микроскопе МБС-1. Фиксация изображений с микроскопа осуществлялась на цифровую камеру 3 Мп, где из поступающих фотографий формировалась база данных по состоянию гипофарингеальных желез и жирового тела пчел.

Для определения развития жирового тела у медоносных пчел были отобраны исследуемые особи (в количестве 15 шт.) из каждой группы на 7-е сутки после начала проведения опыта. Образцы фиксировались в сложном растворе Буэна, представляющем собой смесь из пикриновой и уксусной кислот, а также формальдегида в водном растворе.

Изучение степени развития жирового тела осуществлялась по методике А. Маурицио.

Методика, в соответствии с которой проводилась оценка степени развития жирового тела пчелы, была разработана швейцарским биологом Анной Маурицио в 1954 году. Согласно этому методу брюшко исследуемой особи отделяется от тела, удаляются органы пищеварительного тракта, полученный препарат располагается на предметном столе микроскопа таким образом, чтобы жировое тело находилось сверху и рассматривается при тридцатикратном увеличении, после чего ему



присваивается от 1 до 5 баллов по специальной шкале.

Таким образом, если жировое тело не развито, не имеет складок и явно выраженных включений, клетки прозрачные, сквозь них четко просматривается хитин тергита, оно оценивается в 1 балл. Среднеразвитому жировому телу присваивается 3 балла. Как и в первом случае, такая жировая ткань однослойная, без включений, но уже имеет несколько складок, клетки приобретают белый цвет, не- прозрачные, округлой формы. В 5 баллов оценивают хорошо развитую, многослойную жировую ткань, покрытую множественными складками. Ее клетки крупные, желтого цвета, заполнены хорошо просматриваемыми включениями.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование показало, что развитие жирового тела у всех опытных пчел находилось на оди-

наковом уровне и составляло 1,07 балла по Гессе (табл. 1). При этом стоит отметить, что пчелы рождаются с относительно хорошо развитыми глоточными железами (в среднем 2,04), но жировое тело в большинстве случаев развито слабо.

Рассматривая соотношения особей с различным развитием жирового тела, выявили, что в контрольной и 2-й опытной группах количество пчел, имеющих 1 балл, составляет 14 особей (93,33 %) и есть одна пчела со степенью развития 2 балла (6,67 %) (табл. 2).

В 1-й опытной группе количество пчел с развитием жирового тела в 1 балл составило 13 особей (86,67 %) и две особи имеют двухбалльную оценку (13,33 %). Что же касается 3-й опытной группы, то у всех медоносных пчел степень развития жирового тела находилась на уровне одного балла (100 %).

Таблица 1 – Степень развития жирового тела, баллы

Возраст пчел – 7 суток, n=15			
Группа	Min	Max	M±m
Контроль	1	2	1,07±0,07
1 -я опытная	1	2	1,07±0,07
2 -я опытная	1	2	1,07±0,07
3 -я опытная	1	1	1
Возраст пчел – 14 суток, n=15			
Контроль	1	1	1
1-я опытная	2	3	2,47±0,14
2-я опытная	2	5	3,20±0,25
3 -я опытная	2	5	3,73±0,28

Через 7 суток после завершения первого осмотра развития жирового тела у медоносных пчел были проведены повторные исследования по данному показателю.

Результаты проведенного осмотра показали, что скормливаемые белково-витаминные подкормки оказали влияние на формирование жирового тела пчел (рис. 2).

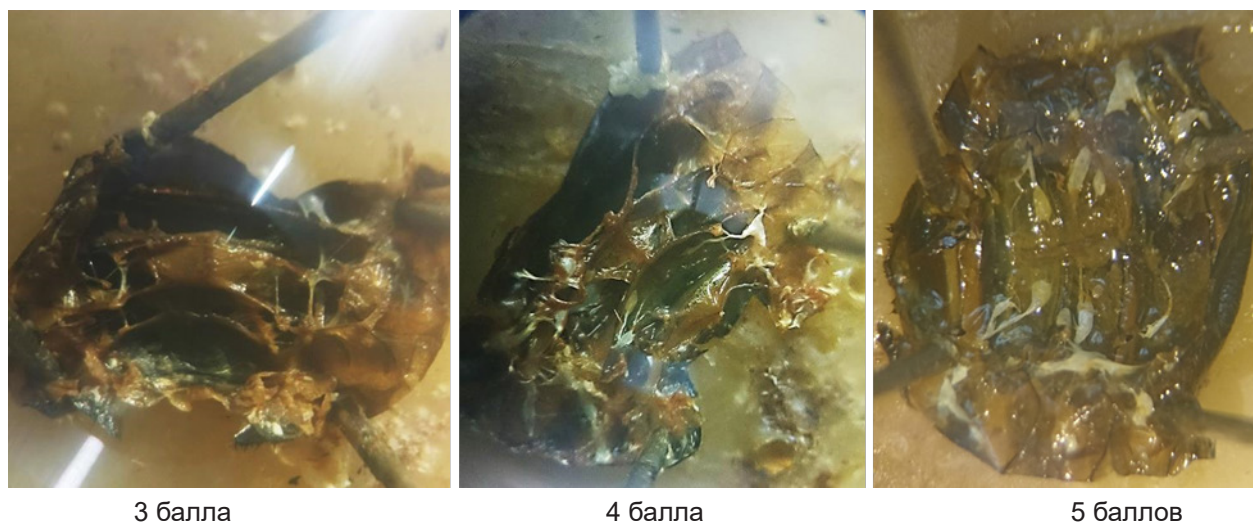


Рис. 2 – Степень развития жирового тела по Гессе у опытных пчел.

Fig. 2 – Degree of development of the fat body in experimental bees according to Hesse.

В контрольной группе, которая получала только сахарный сироп 60 %-й концентрации, жировое тело осталось на уровне в 1 балл, при этом данный балл был установлен у всех 15 особей

(100 %). Такое развитие объясняется тем, что особи контрольной группы получали только углеводный корм, в котором отсутствуют другие необходимые для роста и развития организма пчел



питательные вещества. Поэтому развитие жирового тела в контрольной группе осталось на том же уровне что и в начале проведения опытов.

В первой опытной группе, которая получала автолизат пекарских дрожжей с дополнительным

обогащением витаминами группы В, развитие жирового тела находилось на уровне 2,47 балла. Причем, в процентном соотношении у восьми особей было 2 балла (53,33 %), а у семи – 3 балла (46,67 %) развития жирового тела (табл. 2).

Таблица 2 – Процентное соотношение особей с различным развитием жирового тела

Возраст пчел – 7 суток, n=15								
Балл	Контроль		1-я опытная		2-я опытная		3-я опытная	
	Кол-во особей	%	Кол-во особей	%	Кол-во особей	%	Кол-во особей	%
1	14	93,33	13	86,67	14	93,33	15	100
2	1	6,67	2	13,33	1	6,67	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	15	100	15	100	15	100	15	100
Возраст пчел – 14 суток, n=15								
1	15	100	-	-	-	-	-	-
2	-	-	8	53,33	4	26,67	2	13,33
3	-	-	7	46,67	5	33,33	4	26,67
4	-	-	-	-	5	33,33	5	33,33
5	-	-	-	-	1	6,67	4	26,67
Итого	15	100	15	100	15	100	15	100

Таблица 3 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между развитием жирового тела и содержанием незаменимых аминокислот в корме

Группа	r_s
1-я опытная	0,625
2-я опытная	0,545
3-я опытная	0,537

Во второй опытной группе, получавшей в качестве белкового источника спиролину, развитие жирового тела находилось на уровне 3,20 балла; это значение превосходит показатели опытной группы на 0,73 балла. Скармливание белкового компонента на основе порошка спиролины способствовало значительному повышению уровня развития жирового тела у исследуемых пчел. Таким образом, число рабочих особей, жировое тело которых было оценено в 2 балла, составило 4 особи (26,67 %), 3 и 4 балла были у пяти пчел (33,33 %) и пятибалльная оценка была у одной пчелы (6,67 %).

В третьей опытной группе, получавшей смесь из автолизата пекарских дрожжей и сухой спиролины, был установлен наибольший балл развития жирового тела, который составил 3,73. Стоит отметить, что количество особей, имевших пятибалльную оценку, составило 4 пчелы (26,67 %),

что на 3 пчелы больше по сравнению со второй опытной группой, получавшей только спиролину.

Кроме расчета средних показателей балльной оценки развития жирового тела также был проведен ранговый корреляционный анализ по методу Спирмена, оценка полученных коэффициентов проводилась по шкале Чеддока (табл. 3).

Произведенные расчеты коэффициентов корреляции между такими показателями как развитие жирового тела медоносных пчел и потребление незаменимых аминокислот из скармливаемых белково-витаминных подкормок показали, что между изучаемыми признаками имеется заметная зависимость, так как полученные данные находятся в пределах от 0,537 до 0,625, это значение соответствует диапазону от 0,51 до 0,7 по шкале Чеддока (табл. 4).

Таблица 4 – Шкала Чеддока для характеристики силы связи признаков

Величина коэффициента корреляции	0,1-0,30	0,31-0,50	0,51-0,70	0,71-0,90	0,91-1,0
Характеристика силы связи	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая



Заключение

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод, что скормливание белково-витаминных подкормок оказывает положительное влияние на развитие у медоносных пчел жирового тела. Особенно важным моментом в кормлении пчел является наличие незаменимых аминокислот, а также их процентное соотношение в скормливаемом протеине. В 3-й опытной группе как раз самый высокий процент содержания незаменимых аминокислот – 57,55 %, что и позволило ряду особей развить жировое тело до 5 баллов по Маурицио. Рекомендуется проводить подкормки пчелиных семей с использованием белковых компонентов с целью развития интерьерного показателя – жирового тела, так как жировое тело действует по принципу естественного защитного барьера и помогает удерживать внутренний уровень воды, и, как следствие, благополучную зимовку пчелиных семей.

Список источников

1. Благов, Д.А. Применение белковых и других биологически активных веществ в кормлении медоносных пчел / Д.А. Благов, И.Н. Колчаева // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 12. – С. 54–57. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49928067>
2. Быстрова, И.Ю. Использование белково-витаминного комплекса для обогащения углеводных подкормок в пчеловодстве / И.Ю. Быстрова, И.Н. Колчаева // Вестник РГАТУ. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 5–10. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47161904>
3. Морева, Л.Я. Влияние подкормок на развитие пчел в Краснодарском крае / Л.Я. Морева, О.А. Давыдова // Пчеловодство. – 2019. – № 1. – С. 17–18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37065141>
4. Влияние хитозана в составе биологически активной подкормки "БиХит" на хозяйственно полезные признаки пчел / А.И. Албулов, М. Фролова, В. Варламов [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2022. – Т. 58, № 4. – С. 414–416. – DOI 10.31857/S055510992204002X
5. Сердюченко, И.В. Сравнительная эффективность влияния аминокептида и гидрогеомола на физиологическое состояние пчелосемей / И.В. Сердюченко, В.Х. Вороков // Ветеринарная патология. – 2019. – № 1(67). – С. 56–61. – DOI

10.25690/VETPAT.2019.67.27946.

6. Грушинская, Т.А. Физиологические показатели пчелиных маток и рабочих пчел при стимулирующих подкормках с белковыми добавками / Т.А. Грушинская // Пчеловодство. – 2024. – № 2. – С. 4–6. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64226647>
7. Kovalchuk, I.I. Influence citrate chromium and selenium on the lipid composition of body tissues honeybee / I.I. Kovalchuk // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2014. – Vol. 16, No. 3-2(60). – P. 148–153. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25470581>
8. Khalid, Ali Khan Honey bee (*Apis mellifera jemenitica*) colony performance and queen fecundity in response to different nutritional practices / Ali Khan Khalid, Ahmad Zubair // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2022. – № 29 (8). – DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.056
9. Yang, K.C. A new design of bee cage for laboratory experiments: nutritional assessment of supplemental diets in honey bees (*Apis mellifera*) / K. C. Yang, Z.W. Peng, C.H. Lin // Apidologie. – 52. – P. 418–431 (2021). – URL: <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00832-8>
10. Комаров, И.И. Влияние пробиотика "Probioх АПИ" на показатели продуктивности и силу пчелиных семей / И.И. Комаров // Сб.: Зоотехническая индустрия: проблемы и решения : Материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, научных работников, аспирантов, представителей государственных структур и бизнес-сообществ, Курск, 14 декабря 2023 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. – С. 87–89. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=62575727>
11. Пашаян, С.А. Морфофункциональные изменения жирового тела пчел в условиях Тюменской области / С.А. Пашаян // АПК: инновационные технологии. – 2023. – № 4(63). – С. 61–67. – DOI 10.35524/2687-0436_2023_04_61
12. Ricigliano, V.A. Nutrigenetic comparison of two Varroa-resistant honey bee stocks fed pollen and spirulina microalgae / V.A. Ricigliano, K.E. Ihle, S.T. Williams // Apidologie. – 2021. – Vol. 52, No. 4. – P. 873–886. – DOI 10.1007/s13592-021-00877-3. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53169737>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Blagov, D.A. *Primenenie belkovykh i drugih biologicheskikh aktivnykh veshchestv v kormlenii medonosnykh pchel* / D.A. Blagov, I.N. Kolchaeva // *Agrarny nauchny zhurnal*. – 2022. – № 12. – S. 54–57. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49928067>
2. Bystrova, I.Yu. *Ispolzovanie belkovo-vitaminnoy kompleksa dlya obogashcheniya uglevodnykh podkormok v pchelovodstve* / I.Yu. Bystrova, I.N. Kolchaeva // *Vestnik RGATU*. – 2021. – T. 13. – № 3. – S. 5–10. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47161904>
3. Moreva, L. Ya. *Vliyaniye podkormok na razvitiye pchel v Krasnodarskom krae* / L. Ya. Moreva, O. A. Davydova // *Pchelovodstvo*. – 2019. – № 1. – S. 17–18. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37065141>
4. *Vliyaniye hitozana v sostave biologicheskikh aktivnoy podkormki "BiHit" na hozyajstvenno poleznye priznaki pchel* / A.I. Albulov, M. Frolova, V. Varlamov [i dr.] // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. – 2022. – T. 58, №



4. – S. 414-416. – DOI 10.31857/S055510992204002X

5. Serdyuchenko, I.V. *Sravnitel'naya effektivnost' vliyaniya aminopeptida i gidrogemola na fiziologicheskoe sostoyanie pchelosemej* / I.V. Serdyuchenko, V.H. Vorokov // *Veterinarnaya patologiya*. – 2019. – № 1(67). – S. 56-61. – DOI 10.25690/VETPAT.2019.67.27946.

6. Grushinskaya, T.A. *Fiziologicheskie pokazateli pchelinyh matok i rabochih pchel pri stimuliruyushchih podkormkah s belkovymi dobavkami* / T.A. Grushinskaya // *Pchelovodstvo*. – 2024. – № 2. – S. 4-6. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64226647>

7. Kovalchuk, I.I. *Influence citrate chromium and selenium on the lipid composition of body tissues honeybee* / I.I. Kovalchuk // *Naukovij visnik L'vivs'kogo nacional'nogo universitetu veterinarnoї medicini ta biotekhnologij imeni S.Z. Ġzhic'kogo*. – 2014. – Vol. 16, No. 3-2(60). – P. 148-153. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25470581>

8. Khalid, Ali Khan *Honey bee (Apis mellifera jemenitica) colony performance and queen fecundity in response to different nutritional practices* / Ali Khan Khalid, Ahmad Zubair // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2022. – № 29 (8). – DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.056

9. Yang, K.C. *A new design of bee cage for laboratory experiments: nutritional assessment of supplemental diets in honey bees (Apis mellifera)* / K. C. Yang, Z.W. Peng, C.H. Lin // *Apidologie*. – 52. – P. 418-431 (2021). – URL: <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00832-8>

10. Komarov, I.I. *Vliyanie probiotika "ProbioX API" na pokazateli produktivnosti i silu pchelinyh semej* / I.I. Komarov // *Sb.: Zootekhnicheskaya industriya: problemy i resheniya : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej, nauchnyh rabotnikov, aspirantov, predstavitelej gosudarstvennyh struktur i biznes-soobshchestv, Kursk, 14 dekabrya 2023 goda*. – Kursk: Kurskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.I. Ivanova, 2024. – S. 87-89. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=62575727>

11. Pashayan, S.A. *Morfofunkcional'nye izmeneniya zhirovogo tela pchel v usloviyah Tyumenskoj oblasti* / S.A. Pashayan // *APK: innovacionnye tekhnologii*. – 2023. – № 4(63). – S. 61-67. – DOI 10.35524/2687-0436_2023_04_61

12. Ricigliano, V.A. *Nutrigenetic comparison of two Varroa-resistant honey bee stocks fed pollen and spirulina microalgae* / V.A. Ricigliano, K.E. Ihle, S.T. Williams // *Apidologie*. – 2021. – Vol. 52, No. 4. – P. 873-886. – DOI 10.1007/s13592-021-00877-3. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53169737>

Информация об авторах

Мурашова Елена Анатольевна, канд. с.-х. наук, зам. директора по научной работе, ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», доцент кафедры зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», murashova.36@mail.ru

Федосова Ольга Александровна, канд. биол. наук, и.о. зав. кафедрой зоотехнии и биологии, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», fedosowa1986@mail.ru

Колчаева Ирина Николаевна, научный сотрудник, ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства», anikanova1994@mail.ru

Петряжникова Юлия Владимировна, мл. научный сотрудник, ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства»

Author Information

Murashova Elena A., Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Beekeeping", Associate Professor of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, murashova.36@mail.ru

Fedosova Olga A., Candidate of Biological Sciences, Acting Head of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, fedosowa1986@mail.ru

Kolchaeva Irina N., Researcher, Federal Scientific Center for Beekeeping, anikanova1994@mail.ru

Petryazhnikova Yulia V., Junior Researcher, Federal Scientific Center for Beekeeping

Статья поступила в редакцию 21.01.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 21.01.2025; approved after reviewing 27.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.671
DOI: 10.36508/RSATU.2025.46.35.010

**ПЛАНИРОВАНИЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Владимир Иванович Ольгаренко¹, Игорь Владимирович Ольгаренко²✉, Иван Викторович Коржов³, Владимир Игоревич Ольгаренко⁴

^{1,2} Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Россия

³ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Ростов-на-Дону, Россия

⁴ ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», Новочеркасск, Россия

¹ nimi-info@yandex.ru,

² nimi-info@yandex.ru

³ ivkorzhov@yandex.ru

⁴ olgarenko_vi@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Разработка научного, инженерно-технического и методического обеспечения задач планирования водопользования в оросительных системах с использованием информационных технологий. Цель – разработка концепции создания средств информационно-технологической поддержки планирования водопользования в оросительных системах.

Методология. Средства информационно-технологической поддержки призваны решать конкретные технические и производственные задачи на мелиоративных системах. Это определяет как перечень функций и задач, которые они должны выполнять, так и ряд тех особенностей, которые могут проявляться и должны учитываться при их реализации. Эти особенности применения средств информационно-технологической поддержки на мелиоративных системах можно подразделить по следующим признакам: по особенностям самого объекта или процесса, на котором они используются; по особенностям устройств и сооружений, обеспечивающих управление объектом или процессом; по их месту в структуре эксплуатации объекта; по составу решаемых ими задач; по особенностям принятия решений, связанных с ограничениями на использование водных и других ресурсов.

Результаты. По результатам исследований, проведённых в 2022-2023 годах на Самур-Дербентской оросительной системе Республики Дагестан в рамках Государственного контракта № 164/20-ГК на выполнение прикладных научных исследований был разработан и внедрен «Информационно-вычислительный комплекс планирования водопользования при эксплуатации мелиоративно-водохозяйственных систем». Он обеспечивает расчёт значений суммарных объёмов и расходов воды для каждого из элементов системы, а также сравнивает эти значения со значениями пропускных способностей и уведомляет пользователя о превышении пропускной способности выбранного элемента.

Заключение. Программный комплекс обеспечивает повышение оперативности и качества нормирования орошения и планирования водопользования за счет применения автоматизированной системы проектных и оперативных расчетов планов водопользования на оросительных системах, что создаёт условия для рационального использования водных и энергетических ресурсов.

Ключевые слова: планирование водопользования, информационные технологии, системный подход, алгоритм, структура планирования, линейная схема, заявки водопользователей, отчётные документы

Для цитирования: Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Коржов И.В., Ольгаренко В.И. Планирование водопользования в оросительных системах с использованием информационных технологий // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.69-75 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.46.35.010>



PLANNING WATER USE IN IRRIGATION SYSTEMS USING INFORMATION TECHNOLOGY

Vladimir I. Olgarenko¹, Igor V. Olgarenko²✉, Ivan V. Korzhov³, Vladimir I. Olgarenko⁴

^{1,2} Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – branch of Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia

³ Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Rostov-on-Don, Russia

⁴ Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russia

¹ nimi-info@yandex.ru

² nimi-info@yandex.ru

³ ivkorzhov@yandex.ru

⁴ olgarenko_vi@mail.ru

Annotation

Problem and purpose. To develop scientific, engineering, technical and methodological support for water use planning tasks in irrigation systems using information technologies.

Methodology. Information technology support tools are designed to solve specific technical and production problems in reclamation systems. This determines both the list of functions and tasks that they must perform, as well as a number of features that may appear and must be taken into account during their implementation. These features of the use of information technology support tools in reclamation systems can be divided according to the following characteristics: by the characteristics of the object itself or the process in which they are used; on the characteristics of devices and structures that provide control of an object or process; according to their place in the structure of operation of the facility; by the composition of the tasks they solve; on the peculiarities of decision-making related to restrictions on the use of water and other resources.

Results. Based on the results of research conducted in 2022 - 2023 on the Samur-Derbent irrigation system of the Republic of Dagestan within the framework of State Contract No. 164/20-GK for the implementation of applied scientific research, an "Information and computing complex for water use planning" was developed and implemented during the operation of reclamation and water management systems." Provides calculation of the total volumes and flow rates of water for each of the system elements, and also compares these values with the throughput values and notifies the user if the throughput of the selected element is exceeded.

Conclusion. The software package improves the efficiency and quality of irrigation regulation and water use planning through the use of an automated system for design and operational calculations of water use plans on off-farm irrigation systems, which creates conditions for the rational use of water and energy resources.

Key words: water use planning, information technology, system approach, algorithm, planning structure, linear diagram, water user applications, reporting documents

For citation: Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Korzhov I.V., Olgarenko V.I. Planning water use in irrigation systems using information technology // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P. 69-75 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.46.35.010>

Введение

Проведенный анализ фондовых материалов, литературных источников и ранее проведенных исследований указал на проблемы, связанные с планированием и управлением водопользованием на оросительных системах. Таким образом, учитывая особенности оросительных систем как объектов управления, в настоящее время стало очевидным, что необходимо вести речь о разработке систем, главным предназначением которых является своевременное и качественное обеспечение всех информационных потребностей специалистов в процессе принятия ими управленческих, технологических и технических решений. А значит, применение информационных технологий в практике эксплуатации оросительных систем должно вестись, в основном, через создание комплекса средств информационно-технологической поддержки специалистов и служб эксплуатации всех уровней управления отраслью. Это определило необходимость проведения классификации

средств информационно-технологической поддержки, используемых в отрасли; определения их назначения и места в структуре управления отраслью; формулировки состава решаемых с их помощью задач; определения принципов и методики их разработки и внедрения [1]. Кроме этого, применение компьютерных средств как на стадии планирования, так и на стадии оперативного управления водопользованием позволяет применить новые подходы к вопросам повышения качества и оперативности принимаемых управленческих и инженерно-технических решений, учитывать динамику происходящих процессов и, на их основе, повысить эффективность эксплуатации оросительных систем и её элементов. Включение в контур управления водопользованием компьютерных средств позволяет обеспечить системный подход к проблеме, обеспечить, в ряде случаев, более точные методики расчёта и обработки результатов измерений [2]. Работы по созданию средств информационно-технологической поддержки за-



дач эксплуатации мелиоративных систем требуют привлечения широкого круга специалистов. В их число, кроме специалистов в области информационных технологий, должны входить и проектировщики, и технологи, и ученые, и эксплуатационники. Кроме этого, могут привлекаться специалисты и других областей знаний: агрономы, гидротехники, экологи, юристы. Все это требует координации совместных работ, обеспечения взаимопонимания между ними на всех уровнях создания и внедрения проектов, связанных с использованием средств информационно-технологической поддержки [3]. И, наконец, следует отметить появившиеся уже в последние годы и требующие отдельного научного и инженерно-технического внимания технические и информационно-технологические возможности современных компьютерных средств – мобильных ноутбуков, планшетов, смартфонов.

Материалы и методы исследования

Информационную основу для формирования планов водопользования оросительных систем составляют внутрихозяйственные планы водопользования, разработку которых должны осуществлять «рядовые» специалисты, выполняющие работы по эксплуатации относительно небольших орошаемых участков [4]. Использование дорогостоящего и сложного в эксплуатации технического IT-оборудования становится неактуальным и избыточным для таких специалистов. В данном контексте им необходимы прежде всего простые в использовании инструменты и технологии, способные решить поставленные задачи, включая и инструменты информационно-технологической поддержки, которые могут использовать возможности, доступные сегодня практически каждому человеку (а в особенности специалисту) через гаджеты – ноутбуки, планшеты и смартфоны [5].

Средства информационно-технологической поддержки, как и любые другие средства, призваны решать конкретные технические и/или производственные задачи. Средства, используемые на мелиоративных системах, не являются исключением. Очевидно, что это определяет как тот перечень функций и задач, которые они должны выполнять, так и ряд тех особенностей, которые могут проявляться и должны учитываться при их реализации [6]. Эти особенности применения средств информационно-технологической поддержки на мелиоративных системах можно подразделить по следующим признакам: по особенностям самого объекта или процесса, на котором они используются; по особенностям устройств и сооружений, обеспечивающих управление объектом или процессом; по их месту в структуре эксплуатации объекта; по составу решаемых ими задач; по особенностям принятия решений, связанных с ограничениями на использование водных и других ресурсов.

Теоретические, информационно-аналитические, научно-методические, и статистические исследования проводились на основе работ советских, российских и зарубежных ученых, ведущих научно-исследовательских организаций в данной области информационных технологий, включая отрасль мелиорации и водного хозяйства; изучения научно-методических и нормативно-техниче-

ских материалов (монографии, статьи, фондовые источники, реферативные журналы, проектные решения) [7].

Сбор и анализ научно-технической информации по вопросам исходных требований к средствам информационно-технологической поддержки задач эксплуатации мелиоративных систем осуществлялся с использованием стандартных методик научных и информационно-аналитических исследований; были изучены соответствующие нормативно-методические материалы по анализу и оценке технического уровня гидромелиоративных систем и используемых на них информационных технологий.

Разработка концепции создания средств информационно-технологической поддержки является одним из ключевых моментов, с которого начинается их разработка. При этом проводилось детальное изучение объекта, для которого планировалась разработка этих средств, и совместно с заказчиком был сформулирован тот перечень задач, которые должны быть решены [8].

Компьютерные технологии требуют решения ряда организационно-технических и технологических вопросов, связанных с их применением, в том числе и для решения задач планирования водопользования [9]. Состав технологических решений должен включать: соблюдение правил, форм и требований внутриведомственной и другой отчетности, связанной с водопользованием; соблюдение правил информационного обмена между структурными подразделениями и службами как внутри организации, так и с другими иерархическими уровнями эксплуатации оросительных систем и отрасли; обеспечение хранения и сохранности информации, связанной с планированием водопользования; программные средства должны быть адаптированы к конфигурации и условиям конкретной оросительной системы.

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам исследований, проведенных в 2022-2023 годах на Самур-Дербентской оросительной системе Республики Дагестан в рамках Государственного контракта № 164/20-ГК на выполнение прикладных научных исследований был разработан и внедрен «Информационно-вычислительный комплекс планирования водопользования при эксплуатации мелиоративно-водохозяйственных систем» [10]; структура планирования представлена на рисунке 1.

Программный комплекс за счёт универсальных настроек позволяет проектировать линейную схему конфигурации оросительной системы любой сложности (рис. 2). Конфигурации могут быть такие как: отдельная оросительная система, с привязкой к филиалу; любое количество оросительных систем, не связанных между собой, с привязкой к филиалу; любое количество оросительных систем, подчиненных друг другу, с возможностью просмотра итоговых результатов по каждой из них; любое количество оросительных систем, подчиненных какой-то определенной системе; любое количество оросительных систем в составе филиала; любая комбинация вышеперечисленных конфигураций.

Программный комплекс при наличии всей необ-

ходимой информации, внесенной в систему, обеспечивает расчёт значений суммарных объёмов и расходов воды для каждого из элементов системы (каналы, сооружения, насосные станции и т.д.), а также сравнивает эти значения со значениями пропускных способностей и уведомляет пользователя о превышении пропускной способности выбранного элемента. Суммарные значения рассчитываются исходя из топологической (линейной)

схемы и учитывают все элементы водозаборов, которые влияют на суммарное значение конкретного элемента. На основании информации, хранящейся в Программном комплексе, происходит формирование отчётов, которые позволяют вывести информацию в разрезе водопользователей, районов, культур, а также формирование графической информации водозабора по декадам и вывода их на печать.

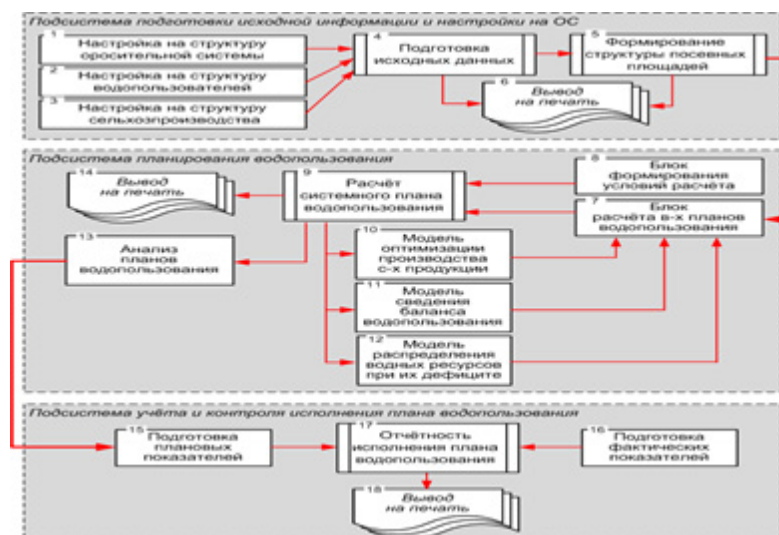


Рис. 1 – Структура планирования водопользования с использованием средств информационно-технологической поддержки
Fig. 1 – Water use planning framework using information technology support tools

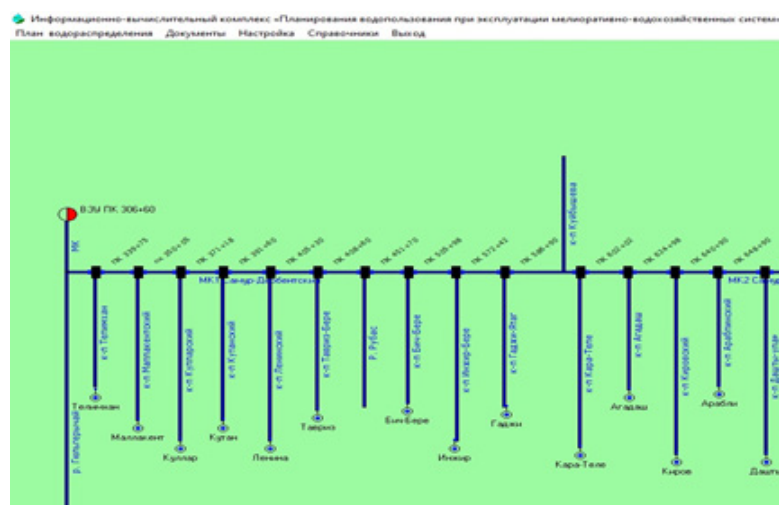


Рис. 2 – Линейная схема Самур-Дербентской оросительной Системы
Fig. 2 – Linear diagram of the Samur-Derbent irrigation system

Внесение сведений по заявке водопользователя осуществляется в несколько этапов: внесение основных и суммарных значений; внесение детализированных значений по декадам; расчет детализированных значений по декадам. При этом Программа перейдёт к вводу заявки для данного элемента, перейдя на экранную форму ввода заявок (рис. 3). При этом, как видно из рисунка 3, автоматически строится иерархическая структура системы, исходя из установленных связей между её элементами. Поля, используемые для внесения сведений и их описание: «Наименование с/х культуры» – наименование культуры, выбирается из выпадающего списка; «Физическая площадь» – вносится пользователем, га; «Количество поливов» – вносится пользователем, ед.; «Поливная норма» – автоматически заполняется из справоч-

ника при выборе культуры или вносится пользователем вручную, м³/га; «Количество гектарополивов поливов» – рассчитывается автоматически при заполнении полей «Физическая площадь» и «Количество поливов», ед; «Водопотребление» – рассчитывается автоматически при заполнении полей «Физическая площадь» и «Поливная норма», м³. После создания записи о культуре и внесении её основных параметров есть возможность внести декадные значения о поливных площадях.

Кроме подсчёта суммарных значений по водопользователю, в системе предусмотрена возможность просмотра суммарных декадных значений для любого элемента, а также анализ возможности пропуска суммарного расхода через данное сооружение или канал (рис. 4).

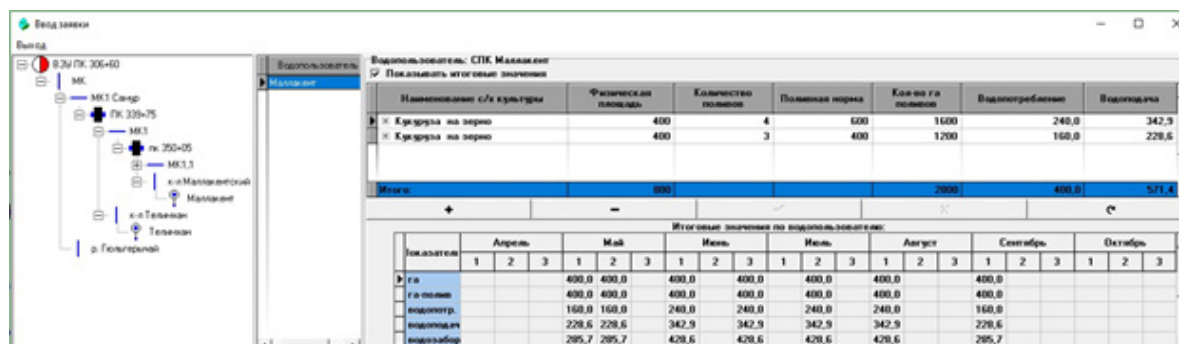


Рис. 3 – Заявка водопользователя

Fig. 3 – Water user application

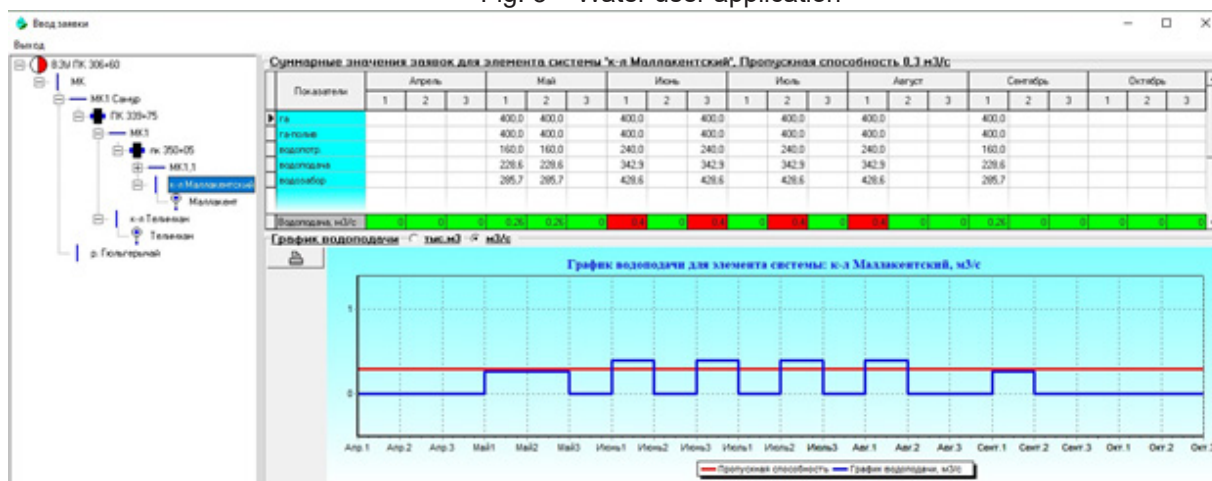


Рис. 4 – Определение пропускной способности канала Маллакентский ПК 350+05

Fig. 4 – Determination of the channel capacity Mallakent PC 350+05

Как видно из рисунка, по данным графика пропускная способность канала Маллакентский ПК 350+05 Самур-Дербентской оросительной системы не обеспечивает заявку водопользователя, поэтому необходимо уменьшить количество гектаров, предполагаемых к орошению в данную декаду или понизить поливную норму сельскохозяйственной культуры и вновь произвести расчёт.

Расчёты необходимо проводить до того момента, когда пропускная способность канала будет обеспечивать заявку водопользователя по каждой декаде.

Формирование сводных печатных документов предназначено для возможности сохранения и печати информации, полученной в ходе расчётов планов водопользования (рис. 5).

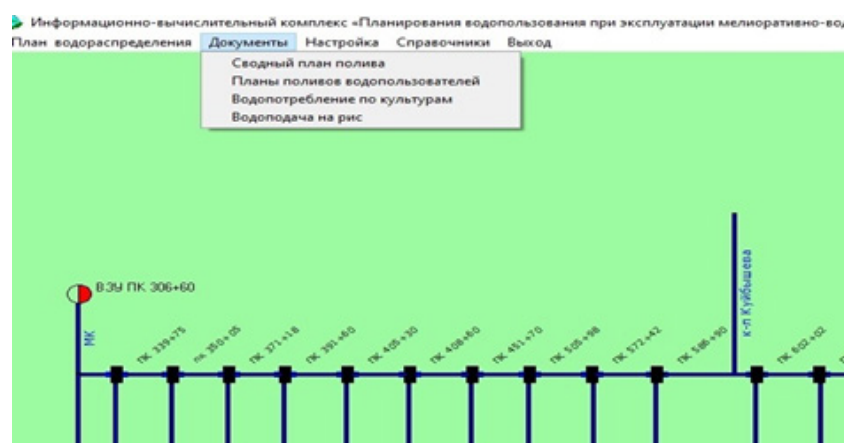


Рис. 5 – Печатные документы по итогу расчёта плана водопользования по оросительной системе
Fig. 5 – Printed documents on the results of the calculation of the water use plan for the irrigation system

Отчет содержит информацию о всех заявках водопользователя, внесенных в систему. Выбор необходимого водопользователя осуществляется с помощью выпадающего списка вверху формы. Также отчет содержит сводную информацию о всех заявках водопользователей, внесенных в систему, агрегированную в разрезе оросительных

систем и итоговую по филиалу в целом; сводную информацию о значениях водопотребления во всех заявках водопользователей, внесенных в систему, агрегированную в разрезе сельскохозяйственных культур и групп сельскохозяйственных культур и отдельно по рису.

Основным назначением программного ком-



плекса является автоматизация подготовки отчётных документов по планированию водопользования на заданный период. Он обеспечивает повышение оперативности и качества нормирования орошения и планирования водопользования за счет применения автоматизированной системы проектных и оперативных расчетов планов водопользования на межхозяйственных оросительных системах, что создаёт условия для рационального использования водных и энергетических ресурсов.

Заключение

Использование средств информационно-технологической поддержки для решения задач водопользования на мелиоративных системах требует учёта тех особенностей, которыми обладают эти системы. Это во многом определяет тот перечень функций и задач, которые они должны выполнять. В связи с этим был проведен анализ процесса водопользования как объекта применения в контуре его управления средств информационно-технологической поддержки. Анализ самого процесса водопользования показал, что, по существующей классификации, он может быть отнесен к категории сложных систем, которые характеризует: наличие общей задачи и единой цели функционирования, а также большого количества взаимодействующих элементов; имеет возможность разделиться на группы, обладает разнообразными формами связи между элементами и процессами, а также содержит множество параметров, определяющих его поведение; нетривиальное поведение, связанное с случайным воздействием внешних факторов. Это позволяет отнести процесс водопользования к категории сложных процессов и, в дальнейшем, использовать общие подходы к созданию средств его информационно-технологической поддержки в соответствии с теорией построения сложных систем. Результаты внедрения программного комплекса на Самур-Дербентской оросительной системе обеспечили повышение оперативности и качества нормирования орошения и планирования водопользования, рациональное использование водных и энергетических ресурсов.

Список источников

1. Ольгаренко, В. И. Система интегральных показателей оценки эффективности водопользования / Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Дезюра С. Д., Герасименко М. В., Ольгаренко В. Иг. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1(33). – С. 139-152.
2. Рогачев, Д.А. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов/ Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф.// International agricultural journal – 2022- Т. 65, № 5 DOI: 10.55186/25876740-2022-65-31
3. Рогачев, Д.А. Управление и оптимизация

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Ol'garenko, V. I. Sistema integral'nykh pokazateley otsenki effektivnosti vodopol'zovaniya / Ol'garenko V. I., Ol'garenko I. V., Dezyura S. D., Gerasimenko M. V., Ol'garenko V. Ig. // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii. – 2019. – № 1(33). – С. 139-152.

системной настройки водоснабжения с помощью экономико-математического моделирования и искусственного интеллекта / Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. // 2023 international Russian automation conference (rusautocon) / Sochi, 10–16 сентября 2023 года Institute of Electrical and Electronics Engineers p. 888-893 DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272907

4. Ялалова, Г.Х. Ключевые направления трансформации планирования системного водораспределения/ Ялалова Г.Х., Юрченко, И.Ф.// научные подходы к современному развитию мелиорации земель / Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова – 2023 - С. 152-159

5. Коржов, И.В. Использование мобильных IT-приложений для решения задач водопользования на внутрихозяйственной оросительной сети / Е.А. Волкова, Д.А. Кудравец, В.И. Коржов, И.В. Коржов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2023.95.43.015

6. Ткачев, А. А. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем/ Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23.

7. Olgarenko I.V., Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Olgarenko V. Ig. A calculation model for determining the agricultural crops water consumption for resource-saving irrigation regimes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 996 (1). 012017 DOI:10.1088/1755-1315/996/1/012017.

8. Юрченко, И. Ф. Планирование системного водораспределения: современное состояние и приоритетные направления совершенствования / И. Ф. Юрченко // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 184-199.

9. Рогачев, Д.А. Управление системным водораспределением на основе экономико-математического моделирования и методов искусственного интеллекта/ Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф., Рогачев А.Ф.// Мелиорация и гидротехника. – 2023- Т. 13, № 3. – С. 87-106. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106

10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023610178. Российская Федерация. Информационно-вычислительный комплекс планирования водопользования при эксплуатации мелиоративно-водохозяйственных систем : № 2022685654 : заявл. 20.12.2022 : опубл. 10.01.2023 / С.С. Турапин, И.В. Коржов, И. В. Ольгаренко, Т.А. Капустина, В.И. Ольгаренко; заявитель ФГБНУ ВНИИ «Радуга».



2. Rogachev, D.A. Modelirovaniye i optimizatsiya sistemnogo vodoraspredeleniya v usloviyakh defitsita vodnykh resursov/ Rogachev D.A., Yurchenko I.F.// International agricultural journal – 2022- T. 65, № 5 DOI: 10.55186/25876740-2022-65-31
3. Rogachev, D.A. Upravleniye i optimizatsiya sistemnoy nastroyki vodosnabzheniya s pomoshch'yu ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya i iskusstvennogo intellekta / Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F. // 2023 international Russian automation conference (rusautocon) / Sochi, 10–16 sentyabrya 2023 goda Institute of Electrical and Electronics Engineers p. 888-893 DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272907
4. Yalalova, G.KH. Klyuchevyye napravleniya transformatsii planirovaniya sistemnogo vodoraspredele-niya/ Yalalova G.KH., Yurchenko, I.F.// nauchnyye podkhody k sovremennomu razvitiyu melioratsii zemel' / Vserossiyskiynauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii imeni A.N. Kostyakova – 2023- S. 152-159
5. Korzhov, I.V. Ispolzovaniye mobil'nykh IT-prilozheniy dlya resheniya zadach vodopol'zovaniya na vnutrikhozyaystvennoy orositel'noy seti / Ye.A. Volkova, D.A. Kudravets, V.I. Korzhov, I.V. Korzhov // Melioratsiya i gidrotekhnika [Elektronnyy resurs]. 2023. T. 13, № 3. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2023.95.43.015
6. Tkachev, A. A. Sovremennyye problemy v upravlenii vodoraspredeleniyem v magistral'nykh kanalakhs orositel'nykh sistem/ Tkachev A. A., Ol'garenko I. V. // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii [Elektronnyy resurs]. 2021. T. 11, № 2. S. 1–23. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23.
7. Ol'garenko I.V., Ol'garenko V.I., Ol'garenko G.V., Ol'garenko V. Ig. A calculation model for determining the agricultural crops water consumption for resource-saving irrigation regimes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 996 (1). 012017 DOI:10.1088/1755-1315/996/1/012017.
8. Yurchenko, I. F. Planirovaniye sistemnogo vodoraspredeleniya: sovremennoye sostoyaniye i prioritetye napravleniya sovershenstvovaniya / I. F. Yurchenko // Melioratsiya i gidrotekhnika. – 2023. – T. 13, № 1. – S. 184-199.
9. Rogachev, D.A. Upravleniye sistemnym vodoraspredeleniyem na osnove ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya i metodov iskusstvennogo intellekta/ Rogachev D.A., Yurchenko I.F., Rogachev A.F.// Melioratsiya i gidrotekhnika. – 2023- T. 13, № 3. – S. 87-106. DOI: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-87-106
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2023610178. Rossiyskaya Federatsiya. Informatsionno-vychislitel'nyy kompleks planirovaniya vodopol'zovaniya pri eksplua-tatsii meliorativno-vodokhozyaystvennykh sistem : № 2022685654 : zayavl. 20.12.2022 : opubl. 10.01.2023 / S.S. Turapin, I.V. Korzhov, I. V. Ol'garenko, T.A. Kapustina, V.I. Ol'garenko; zayavitel' FGBNU VNII «Raduga»

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

Ольгаренко Владимир Иванович, член-корр. РАН, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор кафедры почвоведения, орошаемого земледелия и геодезии, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, nimi-info@yandex.ru

Ольгаренко Игорь Владимирович, зам. директора по НИР, д-р техн. наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, ngma-nauka@yandex.ru

Коржов Иван Викторович, зав. отделом информационно-аналитического обеспечения комплексного использования и охраны водных объектов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», ivkorzhov@yandex.by

Ольгаренко Владимир Игоревич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела агрофизики мелиорированных земель, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», olgarenko_vi@mail.ru

Author Information

Ol'garenko Vladimir I., Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, nimi-info@yandex.ru

Ol'garenko Igor V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science and Innovation of Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, ngma-nauka@yandex.ru

Korzhov Ivan V., head of the Department of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, ivkorzhov@yandex.by

Ol'garenko Vladimir I., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, olgarenko_vi@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 13.01.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 76-82
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.76-82

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.954:633.14:631.559
DOI: 10.36508/RSATU.2025.64.97.011

УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ РЖИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ ГЕРБИЦИДОВ В УСЛОВИЯХ ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Владимир Геннадьевич Пушкарёв

ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», г. Великие Луки,
Псковская область, Россия

vpushkarev1976@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Целью исследований являлся поиск наиболее эффективных гербицидов, обеспечивающих снижение количества и массы сорняков при одновременном увеличении продуктивности озимой ржи.

Методология. Полевые опыты по изучению гербицидов на посевах озимой ржи проводились в 2022-2024 годах. Объектом исследований являлся сорт озимой ржи Новая Эра. В опыте изучались следующие гербициды: Агритокс, Базагран, Логран, Магнум, Ниворос. Технология выращивания озимой ржи соответствовала агротехническим требованиям для культуры в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Оценку засоренности посевов, структуры урожая и урожайности, химического состава зерна проводили по стандартным методикам.

Результаты. Засоренность посевов культуры характеризуется сложным по видовому и групповому составу фитоценозом. Применение гербицидов на посевах озимой ржи позволило снизить общую засоренность на 40,4-65,7 % по количеству и на 51,0-77,8 % по массе. Освобождение от конкуренции со стороны сорных растений положительно повлияло на структуру урожая и урожайность зерна озимой ржи. В вариантах с гербицидами урожайность зерна составила 2,50-3,37 т/га. Применение гербицидов не оказывало отрицательного влияния на рост и развитие культурных растений и позволило получить зерно хорошего качества по химическому составу.

Заключение. Результаты исследований выявили необходимость использования гербицидов на посевах озимой ржи с учетом видового и группового состава сорного компонента агроценоза с целью получения высокого урожая качественной зерновой продукции.

Ключевые слова: озимая рожь, сорные растения, гербициды, урожайность, качество продукции

Для цитирования: Пушкарёв В.Г. Урожайность озимой ржи в зависимости от применяемых гербицидов в условиях Псковской области // Вестник Рязанского государственного агроинженерного университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.76-82 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.64.97.011>

Original article

YIELD OF WINTER RYE DEPENDING ON THE HERBICIDES USED IN THE PSKOV REGION

Vladimir G. Pushkarev

Velikiye Luki State Agricultural Academy, Velikiye Luki, Pskov Oblast, Russia

vpushkarev1976@mail.ru



Annotation

Problem and purpose. The purpose of our research was the search for the most effective herbicides, providing a reduction in the number and mass of weeds with a simultaneous increase in productivity of winter rye.

Methodology. Field experiments on the study of herbicides on crops of winter rye were conducted in 2022-2024. The object of research was winter rye variety New Era. The following herbicides were studied in the experiment: Agritox, Bazagran, Logran, Magnum, Nivoros. The technology of winter rye cultivation met the agrotechnical requirements for the crop in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. Assessment of weediness of crops, yield structure and yield, chemical composition of grain was carried out according to standard methods.

Results. The infestation of crops is characterised by a complex phytocenosis in terms of species and group composition. Application of herbicides on winter rye crops allowed to reduce the total weediness by 40,4-65,7 % by quantity and by 51,0-77,8 % by weight. Release from competition from weed plants had a positive effect on the yield structure and grain yield of winter rye. In variants with herbicides grain yield was 2.50-3.37 tonnes/ha. The use of herbicides had no adverse effect on the growth and development of cultivated plants and allowed to obtain grain of good quality in chemical composition.

Conclusion. The results of research revealed the need to use herbicides on winter rye crops taking into account the species and group composition of the weed component of the agrocenosis in order to obtain a high yield of quality grain products.

Key words: winter rye, weeds, herbicides, yield, product quality

For citation: Pushkarev V.G. Yield of winter rye depending on the herbicides used in the Pskov region // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, N.1, P. 76-82 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.64.97.011](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.64.97.011)

Введение

В России озимая рожь возделывалась с незапамятных времен, а производимый из нее ржаной хлеб отличается высокими вкусовыми качествами и содержанием полноценных белков и витаминов А, В, Е [16]. Зерно культуры в цельном и дробленном виде – это прекрасный корм для многих видов животных. Ржаная мука используется при откорме свиней, а отруби – для кормления крупного рогатого скота [17]. Озимая рожь хорошо кустится, рано отрастает весной, поэтому подавляет на полях рост многих видов сорняков, включая пырей ползучий [19].

Рожь очень неприхотлива к условиям произрастания и может выращиваться на бедных дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах Нечерноземной зоны России, а также превосходит по урожайности на плодородных почвах другие культуры. Кроме того, культура достаточно хорошо переносит повышенную кислотность почв и низкую обеспеченность некоторыми элементами питания, так как способна усваивать труднодоступные соединения фосфора и калия [7, 13, 18].

Озимая рожь – хороший предшественник для многих культур [2, 9, 12], что делает выгодным ее выращивание в севообороте.

Озимая рожь является высококонкурентной культурой по отношению к сорной растительности [8], однако в условиях неблагоприятной перезимовки и нарушения технологии возделывания может быть оправданным применение гербицидов [1, 3, 4, 10]. В частности, исследованиями в условиях Республики Беларусь установлена достаточно хорошая эффективность применения гербицидов на фоне различных агроприемов: снижение количества сорных растений произошло на 80-85 %, их массы – на 90-94 % [5, 20, 21]. В условиях горного земледелия Республики Северная Осетия-Алания при смешанном типе засоренности (яровые, зимующие, корнеотпрысковые виды) эффективность гербицидов может достигать

100 %. Прибавка урожая зерна культуры составила 0,3-1,4 т/га [11]. Следовательно, поиск эффективных гербицидов широкого спектра действия против комплекса сорняков, обеспечивающих получение высоких урожаев качественной зерновой продукции, является актуальным направлением исследований.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты по изучению гербицидов в посевах озимой ржи проводились на опытном поле Великолукской ГСХА в 2022-2024 годах. Объектом исследований являлся сорт озимой ржи Новая Эра.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса 2,1 %, валового азота – 0,9-1,1 %, подвижного фосфора – 123-135 мг/кг, обменного калия – 97-108 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,7. Анализ почвы опытного участка проводили в лаборатории «Станция агрохимической службы «Великолукская».

Исследования по изучению гербицидов включали семь вариантов в четырехкратной повторности. Расположение делянок – последовательное. Учетная площадь делянки составляла 21 м². Методика закладки и проведения полевого опыта соответствовала рекомендациям Б.А. Доспехова [6].

Схема опыта:

1. Контроль (вариант без применения гербицидов);
2. Агритокс 50 % ВК 1 л/га;
3. Базагран 48 % ВР 2 л/га;
4. Логран 75 % ВРГ 8 г/га;
5. Магnum 60 % ВРГ 10 г/га;
6. Ниворос 75 % ВРГ 8 г/га;
7. Ниворос 75 % ВРГ 10 г/га.

В контрольном варианте (без применения гербицидов) проводились только агротехнические мероприятия. Высевали озимую рожь в оптимальные для Псковской области сроки – 25 августа-5 сентября. Посев осуществлялся финской сеялкой «Вяртиля» с нормой высева 5,0 млн семян на 1



га. Предшественником культуры являлись однолетние травы (занятый пар).

Метеорологические условия в годы проведения исследований имели значительные отклонения от среднеемноголетних значений. Гидротермический коэффициент (ГТК) в 2022 году составил 1,38, в 2023 году – 1,66, в 2024 году – 2,12 при среднеемноголетнем значении этого показателя – 1,56. Обработка почвы проводилась в соответствии с агротехническими требованиями для озимой ржи в нашей зоне в зависимости от предшественника. После уборки однолетних трав проводилось дискование (БДТ-3) на 10-12 см с последующей вспашкой плугом (ПН-3-35) на глубину пахотного слоя (18-20 см). Под предпосевную культивацию вносили азотосуд (3 ц/га), весной проводили подкормку аммиачной селитрой (1 ц/га). В период вегетации на посевах озимой ржи вносили фунгицид Альто Супер (0,4 л/га, фаза выхода в трубку) и регулятор роста Моддус (0,3 л/га, фаза выхода в трубку).

Опрыскивание посевов проводилось ранцевым опрыскивателем ОП-209 «Жук» с расходом рабочей жидкости 500 л/га в соответствии с рекомендациями для мелкоделительных опытов. Гербициды вносили в фазу кущения озимой ржи

(весной). Засорённость посевов культуры изучали в полевых условиях по методике ВИЗР [15] количественно-весовым методом через 30 дней после обработки препаратами. Биологическую эффективность гербицидов оценивали по снижению числа и массы сорняков относительно контроля. Структуру урожая учитывали по методике Госсорсети [14].

Результаты исследований и их обсуждение

Засоренность посевов озимой ржи была типичной для зоны выращивания культуры и насчитывала от 13 до 22 основных видов сорняков. Видовая засоренность агроценоза зависела, прежде всего, от культуры, предшественника, почвенных и погодных условий. Сорные растения были представлены четырьмя основными группами: чувствительные к 2,4-Д (эталонный гербицид), устойчивые к 2,4-Д, корневищные и прочие виды (табл. 1). Из чувствительных видов в посевах озимой ржи присутствовали ярутка полевая, пастушья сумка обыкновенная, марь белая. Они достаточно успешно уничтожались во всех вариантах с гербицидами – на 69-95 % по сравнению с контрольным вариантом. Наилучшие результаты отмечены в варианте с препаратом Базагран – 95 %.

Таблица 1 – Засоренность посевов озимой ржи в зависимости от применяемых гербицидов (среднее за 2022-2024 гг.)

Вариант применения гербицидов	Количество и масса сорняков*					Биологическая эффективность, %	
	чувствительные к 2,4-Д	устойчивые к 2,4-Д	корневищные	прочие	всего	по количеству	по массе
Контроль	$\frac{23}{23}$	$\frac{224}{207}$	$\frac{102}{49}$	$\frac{30}{9}$	$\frac{379}{288}$	0,0	0,0
Агритокс	$\frac{5}{3}$	$\frac{114}{89}$	$\frac{79}{35}$	$\frac{28}{12}$	$\frac{226}{139}$	40,4	51,7
Базагран	$\frac{1}{1}$	$\frac{68}{75}$	$\frac{77}{28}$	$\frac{17}{3}$	$\frac{163}{107}$	57,0	62,8
Логран	$\frac{3}{1}$	$\frac{87}{66}$	$\frac{84}{64}$	$\frac{24}{10}$	$\frac{198}{141}$	47,8	51,0
Магнум	$\frac{2}{1}$	$\frac{46}{34}$	$\frac{59}{25}$	$\frac{23}{4}$	$\frac{130}{64}$	65,7	77,8
Ниворос 8 г/га	$\frac{7}{4}$	$\frac{80}{56}$	$\frac{71}{30}$	$\frac{23}{9}$	$\frac{181}{99}$	52,2	65,6
Ниворос 10 г/га	$\frac{3}{3}$	$\frac{61}{57}$	$\frac{60}{17}$	$\frac{21}{5}$	$\frac{145}{82}$	61,7	71,5

* – примечание: количество сорняков (шт./м²) – в числителе, масса сорняков (г/м²) – в знаменателе

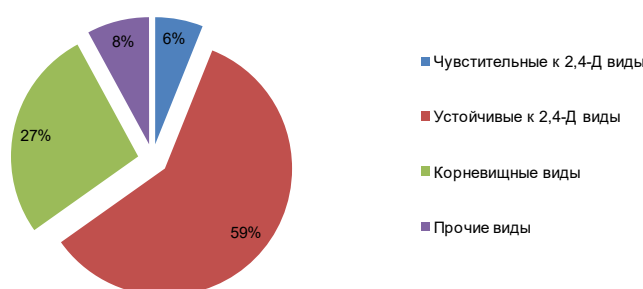
Длительное время на посевах зерновых культур применялись препараты из группы 2,4-Д и 2М-4Х. Это повлекло за собой ряд негативных последствий. Прежде всего, в агроценозе в результате замещения чувствительных стали преобладать устойчивые к 2,4-Д виды сорных растений. Поэтому возникла необходимость поиска гербицидов широкого спектра действия, эффективно подавляющих сорняки из разных биологических групп при отсутствии негативного влияния на возделываемую культуру. В нашем опыте доля устойчивых видов в годы проведения исследований составила в среднем 59 % от общей численности

сорного компонента агроценоза (рис. 1). В этой связи изучались гербициды из разных химических групп с различными нормами расхода. Наибольшую эффективность в подавлении сорняков из отмеченной выше группы показал препарат Магнум. Биологическая эффективность по сравнению с контрольным вариантом составила: по количеству – 79,5 %, по массе – 83,6 %, то есть была достаточно высокой. Близкие по эффективности результаты получены в варианте с гербицидом Ниворос в норме расхода 10 г/га. Численность сорняков, устойчивых к 2,4-Д, снизилась на 72,8 %, их масса – на 72,5 % по сравнению с вариантом без обра-



ботки. Следует отметить, что из устойчивых видов в посевах озимой ржи присутствовали ромашка непахучая, звездчатка средняя, галинсога мелкоцветная, горец развесистый и вьюнковый, пикульники, подмаренник цепкий и некоторые другие.

Значительный удельный вес среди сорных растений в посевах озимой ржи имели представители группы корневищных видов – 26,9 %. Это, прежде всего, пырей ползучий, хвощ полевой и мята полевая. Применяемые в посевах культуры гербициды достаточно успешно уничтожали хвощ полевой и мяту полевую, однако не подавляли пырей ползучий в связи со своими химическими характеристиками. Поэтому биологическая эффективность препаратов против сорняков этой группы не превышала 17-42 % по сравнению с контрольным вариантом.



В конечном итоге, общая численность сорных растений в вариантах с гербицидами снизилась на 40,4-65,7 %, их масса – на 51,0-77,8 % (табл. 1). Наилучшие результаты отмечены в варианте с гербицидом Магнум, где биологическая эффективность по количеству составила 65,7 %, по массе – 77,8 %. Хорошие результаты получены при обработке посевов озимой ржи препаратом Ниворос (10 г/га) – 61,7 % и 71,5 % соответственно.

Следовательно, гербициды нового поколения (Магнум и Ниворос) проявляют не только большую биологическую эффективность против комплекса сорняков по сравнению с препаратами предыдущих поколений (Агритокс, Базагран), но и в значительно меньших нормах расхода.

Рис. – Соотношение основных групп сорных растений в посевах озимой ржи
Fig. – The ratio of the main groups of weeds in winter rye crops

Уменьшение конкуренции за основные факторы жизни со стороны сорных растений создало более благоприятные условия для роста и развития растений озимой ржи. Во всех вариантах с гербицидами (кроме варианта с Базаграном) увеличилась сохранность растений к уборке по сравнению с контрольным вариантом (табл. 2). Снижение общей густоты стояния связано с неблагоприятными условиями перезимовки озимой ржи. Высота культурных растений в вариантах с гербицидами была близка к контрольным значениям (121 см) и составила 120-123 см, что свидетельствует об

отсутствии отрицательного влияния на ростовые процессы.

Применение гербицидов положительно повлияло на основные элементы структуры урожая озимой ржи. Продуктивная кустистость в вариантах с препаратами по сравнению с контролем возросла на 0,03-0,28 и составила 1,28-1,53, причем наибольшее значение получено в варианте с гербицидом Ниворос (10 г/га). Количество зерен в колосе увеличилось во всех вариантах с гербицидами, кроме варианта с Агротоксом, на 0,6-1,9 шток.

Таблица 2 – Структура урожая и урожайность озимой ржи (среднее за 2022-2024 гг.)

Вариант	Густота стояния, шт/м ²	Высота растений, см	Продуктивная кустистость	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт	Масса зерен, г		Урожайность, т/га
						в колосе	1000 зерен	
Контроль	189	121	1,25	9,3	27,0	0,99	36,7	2,28
Агритокс	198	122	1,28	9,4	26,8	1,07	39,9	2,50
Базагран	188	121	1,47	9,4	27,6	1,20	43,4	2,87
Логран	212	120	1,36	9,6	27,9	1,19	42,6	3,15
Магнум	198	123	1,43	9,7	28,7	1,20	41,8	3,17
Ниворос 8 г/га	214	122	1,33	10,0	28,4	1,15	40,5	3,02
Ниворос 10 г/га	200	121	1,53	9,5	28,9	1,14	39,6	3,37
НСР ₀₅								0,27



Одним из основных показателей элементов структуры урожая, который позволяет получить прибавку урожая по сравнению с другими вариантами опыта, является масса 1000 семян. В нашем опыте во всех вариантах с препаратами произошло увеличение отмеченного показателя по сравнению с контрольным вариантом на 2,9-6,7 г. Наибольшее значение получено в варианте с гербицидом Базагран – 43,4 г. В конечном итоге, увеличение основных показателей элементов структуры урожая в вариантах с гербицидами позволило получить достоверную прибавку урожая зерна озимой ржи – 0,22-1,09 т/га ($HCР_{05}=0,27$ т/га) или 9,6-47,8 % по сравнению с контрольным вариантом. Исключение составляет вариант с препаратом Агритокс, где прибавка урожая (0,22 т/га) была в пределах ошибки опыта. Наи-

большая урожайность зерна озимой ржи получена в варианте с гербицидом Ниворос (10 г/га) – 3,37 т/га.

Применение гербицидов может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на различные процессы, происходящие в растении. В нашем опыте применяемые препараты не оказывали отрицательного влияния на химический состав зерна озимой ржи (табл. 3).

Содержание азота во всех вариантах с гербицидами увеличилось по сравнению с контролем на 0,1-0,19 %. Наибольшее значение по отмеченному показателю получено в варианте с препаратом Ниворос (8 г/га) – 1,66 %. Содержание фосфора и калия в зерне озимой ржи не имело существенных различий по вариантам опыта.

Таблица 3 – Химический состав зерна озимой ржи, %

Вариант	Азот	Фосфор	Калий	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола
Контроль	1,47	1,04	0,68	9,16	3,45	1,80	1,80
Агритокс	1,61	1,05	0,63	10,03	3,29	1,75	1,66
Базагран	1,57	1,06	0,67	9,82	3,26	1,80	1,73
Логран	1,62	1,03	0,66	10,10	3,28	1,81	1,67
Магнум	1,63	1,06	0,70	10,15	3,26	1,79	1,68
Ниворос 8 г/га	1,66	1,00	0,65	10,35	3,14	1,78	1,70
Ниворос 10 г/га	1,62	1,04	0,68	10,13	3,13	1,80	1,60

Содержание сырого протеина в семенах напрямую связано с содержанием азота. Увеличение этого компонента в зерне озимой ржи способствовало росту содержания сырого протеина в вариантах с гербицидами на 0,66-1,19 % по сравнению с контролем. Содержание сырого протеина особенно важно при использовании зерна на кормовые цели. Сырая клетчатка также является важным компонентом зерна, который в оптимальном количестве оказывает положительное влияние на пищеварение и усвоение корма. В нашем опыте содержание сырой клетчатки было на 0,16-0,32 % ниже контрольного показателя. Содержание сырого жира и сырой золы во всех вариантах с гербицидами несущественно отличалось от контрольного варианта.

Заключение

По итогам проведенных исследований установлено, что наилучшие результаты при использовании гербицидов на посевах озимой ржи отмечены в варианте с препаратом Магнум, где биологическая эффективность по количеству составила 65,7 %, по массе – 77,8 %. Наибольшая урожайность зерна озимой ржи получена в варианте с гербицидом Ниворос (10 г/га) – 3,37 т/га. По химическому составу зерно культуры с наилучшими характеристиками получено в вариантах с препаратами Магнум и Ниворос (8 г/га).

Таким образом, по комплексу показателей в условиях Псковской области наилучшие результаты

получены при использовании на посевах озимой ржи гербицидов Магнум и Ниворос.

Список источников

1. Баздырев, Г. И. Борьба с сорными растениями в системе земледелия в Нечернозёмной зоне / Г. И. Баздырев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 172 с.
2. Беляков, Н. И. Агротехника важнейших зерновых культур / Н. И. Беляков. – М.: Высш. шк., 1983. – 207 с.
3. Бессилкин, С. В. Защита озимой ржи от сорных растений с использованием гербицидов Логран / С. В. Бессилкин, Н. Н. Лысенко // Роль молодых ученых и специалистов в повышении эффективности растениеводства (Орел, 23–27 марта 2009 года). – Орел, 2009. – С. 5-6.
4. Бешанов, А. В. Борьба с сорняками на полях Нечерноземья / А. В. Бешанов, А. В. Фисюнов. – Л.: Колос, 1993. – 168 с.
5. Влияние обработки почвы, боронования и применения гербицида на засоренность посевов и урожайность озимой ржи / Л. А. Булавин, А. П. Гвоздов, Д. Г. Симченков [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – № 57. – С. 63-68.
6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. вузов по агр. спец. / Б. А. Доспехов – 6-е изд., стер.; перепеч. с пятого изд. 1985 г. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.
7. Жуковский, Г. М. Культурные растения и их



сородичи / Г. М. Жуковский. – Л.: Колос, 1971. – 750 с.
8. Захаренко, В. А. Борьба с сорняками в посевах зерновых колосовых культур / В. А. Захаренко, А. В. Захаренко. – М., 2007. – 48 с.

9. Зуев, Н. А. Озимая рожь в Нечерноземной зоне / Н. А. Зуев, А. П. Пылов. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 94 с.

10. Иванцов, Н. К. Борьба с сорняками на полях Нечерноземья / Н. К. Иванцов, В. А. Маханёк. – Великие Луки, 1998. – 59 с.

11. Кожаев, В. А. Влияние засоренности на продуктивность посевов в горной зоне Северной Осетии / В. А. Кожаев // Достижения науки - сельскому хозяйству: материалы региональной научно-практической конференции, Владикавказ, 19–20 декабря 2016 года. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2016. – С. 40–43.

12. Коломейченко, В. В. Полевые и огородные культуры России. Зерновые: монография / В. В. Коломейченко. – СПб.: Лань, 2018. – 472 с.

13. Коренев, Г. В. Растениеводство с основами селекции и семеноводства / Г. В. Коренев, П. И. Подгорный, С. Н. Щербак; под ред. Г. В. Коренева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 575 с.

14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. – М.: Колос, 1994. – 237 с.

15. Методические указания по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве. – М.: ВИЗР, 1988. – 46 с.

16. Мордашов, А. И. Происхождение и распространение культурных растений / А. И. Морда-

шов. – Великие Луки, 2000. – 43 с.

17. Растениеводство / под ред. В. Н. Степанова. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1959. – 426 с.

18. Растениеводство: учеб. / Г. С. Посыпанов [и др.]; под ред. Г. С. Посыпанова. – М.: Инфра-М, 2016. – 611 с.

19. Ториков, В. Е. Производство продукции растениеводства: учеб. пособие / В. Е. Ториков, О. В. Мельникова. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2019. – 512 с.

20. Шевчик, А. А. Эффективность применения гербицидов на посевах озимой ржи в условиях суп "Якимовичи-агро" Калининского района / А. А. Шевчик, Е. И. Шершнева // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: Сборник статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции, Горки, 26–27 января 2022 года. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 334–337.

21. Шершнева, Е. И. Эффективность применения гербицидов на посевах озимой ржи / Е. И. Шершнева, А. А. Шевчик // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XXI Международной научно-практической конференции, Горки, 23–26 января 2023 года / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 297–300.

References

1. Bazdyrev, G. I. Bor'ba s sornymi rasteniyami v sisteme zemledeliya v Nechernozomnoy zone / G. I. Bazdyrev. – M.: Rosagropromizdat, 1990. – 172 s.
2. Belyakov, N. I. Agrotehnika vazhneyshikh zernovykh kul'tur / N. I. Belyakov. – M.: Vyssh. shk., 1983. – 207 s.
3. Bessilkin, S. V. Zashchita ozimoy rzhi ot sornykh rasteniy s ispol'zovaniyem gerbitsidov Logran / S. V. Bessilkin, N. N. Lysenko // Rol' molodykh uchenykh i spetsialistov v povyshenii effektivnosti rasteniyevodstva (Orel, 23–27 marta 2009 goda). – Orel, 2009. – S. 5–6.
4. Beshanov, A. V. Bor'ba s sornyakami na polyakh Nechernozem'ya / A. V. Beshanov, A. V. Fisyunov. – L.: Kolos, 1993. – 168 s.
5. Vliyaniye obrabotki pochvy, boronovaniya i primeneniya gerbitsida na zasorennost' posevov i urozhaynost' ozimoy rzhi / L. A. Bulavin, A. P. Gvozdev, D. G. Simchenkov [i dr.] // Zemledeliye i selektsiya v Belarusi. – 2021. – № 57. – S. 63–68.
6. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy): ucheb. dlya stud. vuzov po agr. spets. / B. A. Dospekhov – 6-ye izd., ster.; perepech. s pyatogo izd. 1985 g. – M.: Al'yans, 2011. – 352 s.
7. Zhukovskiy, G. M. Kul'turnyye rasteniya i ikh sorodichi / G. M. Zhukovskiy. – L.: Kolos, 1971. – 750 s.
8. Zakharenko, V. A. Bor'ba s sornyakami v posevakh zernovykh kolosovykh kul'tur / V. A. Zakharenko, A. V. Zakharenko. – M., 2007. – 48 s.
9. Zuyev, N. A. Ozimaya rozh' v Nechernozemnoy zone / N. A. Zuyev, A. P. Pylov. – M.: Rossel'khozizdat, 1979. – 94 s.
10. Ivantsov, N. K. Bor'ba s sornyakami na polyakh Nechernozem'ya / N. K. Ivantsov, V. A. Makhanok. – Velikiye Luki, 1998. – 59 s.
11. Kozhayev, V. A. Vliyaniye zasorennosti na produktivnost' posevov v gornoy zone Severnoy Osetii / V. A. Kozhayev // Dostizheniya nauki - sel'skomu khozyaystvu: materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Vladikavkaz, 19–20 dekabrya 2016 goda. – Vladikavkaz: Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016. – S. 40–43.
12. Kolomeychenko, V. V. Polevyie i ogorodnyie kul'tury Rossii. Zernovyye: monografiya / V. V. Kolomeychenko. – SPb.: Lan', 2018. – 472 s.



13. Korenev, G. V. *Rasteniyevodstvo s osnovami selektsii i semenovodstva* / G. V. Korenev, P. I. Podgornyy, S. N. Shcherbak; pod red. G. V. Koreneva. – M.: Agropromizdat, 1990. – 575 s.
14. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. Vyp. 2. – M.: Kolos, 1994. – 237 s.
15. *Metodicheskiye ukazaniya po polevomu ispytaniyu gerbitsidov v rasteniyevodstve*. – M.: VIZR, 1988. – 46 s.
16. Mordashov, A. I. *Proiskhozhdeniye i rasprostraneniye kul'turnykh rasteniy* / A. I. Mordashov. – Velikiye Luki, 2000. – 43 s.
17. *Rasteniyevodstvo*/pod red. V. N. Stepanova. – M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1959. – 426 s.
18. *Rasteniyevodstvo: ucheb.* / G. S. Posypanov [idr.]; pod red. G. S. Posypanova. – M.: Infra-M, 2016. – 611 s.
19. Torikov, V. Ye. *Proizvodstvo produktsii rasteniyevodstva : ucheb. posobiye* / V. Ye. Torikov, O. V. Mel'nikova. – 3-ye izd., ster. – SPb. : Lan', 2019. – 512 s.
20. Shevchik, A. A. *Effektivnost' primeneniya gerbitsidov na posevakh ozimoy rzhi v usloviyakh sup "Yakimovich-agro" Kalinkovichskogo rayona* / A. A. Shevchik, Ye. I. Shershneva // *Tekhnologicheskiye aspekty vozdel'yvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur : Sbornik statey po materialam XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Gorki, 26–27 yanvarya 2022 goda. – Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2022. – S. 334-337.
21. Shershneva, Ye. I. *Effektivnost' primeneniya gerbitsidov na posevakh ozimoy rzhi* / Ye. I. Shershneva, A. A. Shevchik // *Tekhnologicheskiye aspekty vozdel'yvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur : sbornik statey po materialam XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Gorki, 23–26 yanvarya 2023 goda / *Ministerstvo sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya Respubliki Belarus'*, Belorusskaya gosudarstvennaya ordenov Oktyabr'skoy Revolyutsii i Trudovogo Krasnogo Znameni sel'skokhozyaystvennaya akademiya. – Gorki: BGSKHA, 2023. – S. 297-300.

Информация об авторе

Пушкарёв Владимир Геннадьевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры земледелия и технологии производства продукции растениеводства, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», vpushkarev1976@mail.ru

Author information

Pushkarev Vladimir G., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Technology of Crop Production, FSEI HPE «Velikiye Luki State Agricultural Academy», vpushkarev1976@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 13.01.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1 с. 83-92
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.83-92

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.934
DOI: 10.36508/RSATU.2025.63.75.012

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО
ОТ ПОЛЕГАНИЯ РАСТЕНИЙ И ВРЕДНЫХ ОРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Андрей Андреевич Соколов¹✉, Дмитрий Валериевич Виноградов², Алексей Игоревич Вертелецкий³, Вадим Александрович Крылов⁴, Александр Леонидович Гуртовой⁵

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

^{4,5} АО Фирма «Август», Московская область, г. Черноголовка, Россия

¹ falcon-agro@mail.ru

² vdv-rz@rambler.ru

³ alexverteletski@mail.ru

⁴ v.krylov@avgust.com

⁵ a.gurtovoy@avgust.com

Аннотация

Проблема и цель. Одним из эффективных способов решения проблемы защиты посевов ярового ячменя от вредных организмов может стать использование высококачественных препаратов от отечественного производителя АО Фирма «Август». В настоящее время компания предлагает обширный ассортимент средств защиты растений от различных вредителей, сорняков и болезней, включая препараты для обработки ярового ячменя. Многочисленными научными исследованиями и производственными испытаниями подтверждена эффективность препаратов компании «Август», которые успешно применяются в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Целью исследования была оценка системы защиты ярового ячменя от полегания растений и вредных организмов, разработанной в АО фирма «Август».

Методология. Полевой опыт закладывался на серых лесных тяжелосуглинистых почвах в условиях Рязанского района. Объектами исследований выступали растения ярового ячменя сорта «Надежный»; фунгицидный протравитель: Стерлинг ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40г/л протиоконазола); средства защиты растений: Ланцет, КМЭ (125 г/л протиоконазола + 100 г/л пикоксистробина); Ракурс, СК (160+240 г/л); Стингрей, КЭ (50 г/л пиноксадена + 12,5 г/л клоквинтосет-мексила); НордСтрим, ВДГ (350 г/кг пиклорама +200 г/кг трибенурон-метила + 80 г/кг флорасулама). А также заболевания ячменя: стеблевые и корневые гнили, сетчатая пятнистость (*Drechslera teres* Syn. *Helminthosporium teres*), темно-бурая пятнистость (*Cochliobolus sativus* Syn. *Bipolaris sorokiniana*), карликовая ржавчина (*Puccinia hordei*), мучнистая роса (*Blumeria graminis* Syn. *Erysiphe graminis*), ринхоспориоз (*Rhynchosporium secalis*), сорная растительность (злаковые и двудольные сорняки). Технологические операции по возделыванию ярового ячменя выполнялись в оптимальные агротехнические сроки в соответствии с зональными рекомендациями. В качестве предшественника ярового ячменя был горох посевной. Оценку влияния исследуемого протравителя на посевные качества семян выполняли в цикле лабораторных опытов. При выполнении полевого опыта во время вегетации культуры наблюдали за развитием вредных организмов в посевах ярового ячменя, определяли эффективность применения средств защиты растений, учитывали урожайность культуры и определяли ее структуру. Все исследования проводились по стандартным методикам.

Результаты. В результате исследований выявлено, что испытываемые на ячмене яровом рефунгицидный протравитель Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40г/л протиоконазола); оказал стимулирующее воздействие на формирование корневой системы растений ячменя относительно контроля на 53,6 %. Отмечено некоторое снижение энергии прорастания (0,4 %), лабораторной (0,6 %) и полевой всхожести (3,2 %) семян ярового ячменя на вариантах с обработкой препаратом Стерлинг относительно контрольного варианта. Отмечалось более высокое количество продуктивных стеблей на растении при обработке семенного материала препаратом Стерлинг, ВСК – 619,5 шт. (+41,0 шт.), относительно контрольного варианта (578,5 шт.). Индекс развития продуктивного стеблестоя у растений ярового ячменя составил на варианте Стерлинг – 1,52; на контроле – 1,49. Наибольшая урожайность семян ячменя выявлена на варианте предпосевной обработки препаратом Стерлинг, она составила +3,8 ц/га (+9,7 %) при урожайности 43,0 ц/га. Система защиты ярового ячменя от болезней показала высокую биологическую эффективность: в отноше-



нии гельминтоспориоза листьев – фунгицидом Ракурс до 72,1 %, фунгицидом Ланцея – 70,85 %. Развитие корневых гнилей ячменя в опыте изменялось с 1,8-2,6 % до 3,0-3,7 %, распространенность болезни при этом составила 7,4-10,5 % и 12,0-14,9 % при первом и втором учетах. Выявлена высокая биологическая эффективность гербицида НордСтрим в снижении засоренности однолетними двудольными сорняками на 95,6-96,6 %, многолетними двудольными – на 94,0-95,7 % по вариантам опыта. В отношении злаковых сорных растений эффективность гербицида Стингрей была также высока – 96,8-97,5 %.

Заключение. На основании проведенных исследований для повышения устойчивости растений ячменя к полеганию, увеличения сопротивляемости заболеваниям и формирования урожая рекомендуется к применению в технологии выращивания ярового ячменя предпосевную обработку семян препаратом Стерлинг, ВСК – 1,5 л/т семян. В опыте наблюдалась высокая эффективность системы защиты растений ячменя ярового с использованием средств защиты растений: Ланцея, КМЭ, Ракурс, СК, Стингрей, КЭ, НордСтрим, ВДГ.

Ключевые слова: яровой ячмень, предпосевная обработка семян, регуляторы роста растений, система защиты растений, заболевания, сорная растительность, урожайность

Для цитирования: Соколов А.А., Виноградов Д.В., Вертелецкий А.И., Крылов В.А., Гуртовой А.Л. Оценка эффективности системы защиты ячменя ярового от полегания растений и вредных организмов в условиях Рязанской области // Вестник Рязанского государственного агроэкономического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.83-92 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.63.75.012>

Original article

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE SPRING BARLEY PROTECTION SYSTEM AGAINST LODGING OF PLANTS AND HARMFUL ORGANISMS IN THE RYAZAN REGION

Andrey A. Sokolov¹, Dmitry V. Vinogradov², Alexey I. Verteletsky³, Vadim A. Krylov⁴, Alexander L. Gurtovoy⁵

^{1,2,3} Ryazan State Agro-Technical University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

^{4,5} JSC Firm "August", Moscow region, Chernogolovka, Russia

¹ falcon-agro@mail.ru

² vdv-rz@rambler.ru

³ alexverteletski@mail.ru

⁴ v.krylov@avgust.com

⁵ a.gurtovoy@avgust.com

Annotation

Problem and purpose. One of the effective ways to solve the problems of protecting spring barley crops from harmful organisms may be the use of high-quality preparations from the domestic manufacturer JSC Firm August. Currently, the company offers an extensive range of plant protection products against various pests, weeds and diseases, including preparations for the treatment of spring barley. Numerous scientific studies and production tests have confirmed the effectiveness of the August company's preparations, which are successfully used in crop cultivation technologies. The purpose of the study was to evaluate the protection system for spring barley from lodging plants and harmful organisms developed by JSC firm August.

Methodology. The field experience was based on gray forest heavy loamy soils in the Ryazan region. The objects of research were spring barley plants of the Reliable variety, plant growth regulator: Sterling, VSK (30 g/l diphenconazole + 40 g/l prothioconazole); plant protection products: Lancea, KME (125 g/l of prothioconazole + 100 g/L of picoxystrobine); Rakurs, SK (160+240 g/L), Stingray, CE (50 g/l of pinoxadene + 12.5 g/L of cloquintose-mexil), Nordstream, EDG (350g/kg picloram + 200 g/kg tribenuron-methyl + 80 g/kg florasulam); diseases of barley: stem and root rot, reticulated spotting (*Drechslera teres* Syn. *Helminthosporium teres*), dark brown spot (*Cochliobolus sativus* Syn. *Bipolaris sorokiniana*), dwarf rust (*Puccinia hordei*), powdery mildew (*Blumeria graminis* Syn. *Erysiphe graminis*), *Rhynchosporium secalis*, weeds (grasses and dicotyledonous weeds). Technological operations for the cultivation of spring barley were carried out in optimal agro-technical terms in accordance with zonal recommendations. The seed peas were used as a precursor to spring barley. The influence of the studied mordant on the sowing qualities of seeds was evaluated in a cycle of laboratory experiments. During the field experiment during the growing season, the development of harmful organisms in spring barley crops was monitored, the effectiveness of plant protection products was determined, crop yields were taken into account and its structure was determined. All studies were conducted using standard methods.

Results. As a result of the research, it was revealed that the plant growth regulator Sterling, VSK (30 g/l diphenconazole + 40 g/l prothioconazole) tested on spring barley had a stimulating effect on the formation of



the root system of barley plants relative to the control by 53.6%. There was a slight decrease in germination energy (0.4%), laboratory (0.6%) and field germination (3.2%) of spring barley seeds in the variants treated with Sterling relative to the control variant. There was a higher number of productive stems on the plant during the treatment of seed material with the preparation Sterling, VSK – 619.5 pcs. (+41.0 pcs.), relative to the control variant (578.5 pcs.). The index of productive stem development in spring barley plants was 1.52 in the Sterling variant; 1.49 in the control. The highest yield of barley seeds was found on the Sterling pre-sowing treatment option, and amounted to +3.8 c/ha (+9.7%) with a yield of 43.0 c/ha. The spring barley disease protection system has shown high biological efficacy: with respect to helminthosporiosis of leaves, the Rakurs fungicide is up to 72.1%, and the Lancea fungicide is 70.85%. The development of root rot in barley in the experiment varied from 1.8-2.6% to 3.0-3.7%, while the prevalence of the disease was 7.4-10.5% and 12.0-14.9% in the first and second accounts. The high biological effectiveness of the herbicide Nordstream in reducing the contamination of annual dicotyledonous weeds by 95.6-96.6%, and perennial dicotyledonous weeds by 94.0-95.7% according to the experimental variants was revealed. For cereal weeds, the effectiveness of the Stingray herbicide was also high – 96.8-97.5%.

Conclusion. Based on the research conducted, in order to increase the resistance of barley plants to lodging, increase disease resistance and yield formation, we recommend pre-sowing seed treatment with Sterling, VSK - 1.5 l/t seeds in the technology of growing spring barley. In the experiment, a high efficiency of the spring barley plant protection system was observed using plant protection products: Lancea, KME, Rakurs, SK, Stingray, CE, Nordstream, VDG.

Key words: spring barley, pre-sowing seed treatment, plant growth regulators, plant protection system, diseases, weeds, yield

For citation: Sokolov A.A., Vinogradov D.V., Verteletsky A.I., Krylov V.A., Gurtovoy A.L. Evaluation of the effectiveness of the spring barley protection system against lodging of plants and harmful organisms in the Ryazan region// Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P. 83-92 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.63.75.012>

Введение

Ячмень используется в продовольственных целях при производстве ячневой и перловой крупы, в пивоваренной промышленности. Ячменное зерно относится к ценнейшим концентрированным кормам для сельскохозяйственных животных, оно богато крахмалом, содержит полноценный легко усвояемый белок. В России на кормовые цели используют до 70 % ячменя [1,5,8].

В мировом земледелии посевная площадь ячменя составляет 51,5 млн га. В России площадь посева ячменя занимает около 8 млн га, а средняя урожайность ячменя в мире составляет 3,5 т/га, в России 2,3 т/га, при этом отмечаются значительные колебания по годам, что обусловлено не только погодными условиями, но и развитием вредных организмов, главным образом болезней и сорной растительности [3,4,13]. Чаще всего в посевах ячменя встречаются такие заболевания как стеблевые и корневые гнили, сетчатая пятнистость, темно-бурая пятнистость, карликовая ржавчина, мучнистая роса, ринхоспориоз, потери от которых в отдельные годы могут достигать 50 % и выше [6,10,15]. Кроме того, ячмень относится к зерновым культурам, склонным к полеганию, что увеличивает потери урожая [11]. Поэтому применение ретардантов, предпосевная подготовка семян, приемы регулирования питания растений ячменя, аспекты системы защиты растений в технологии возделывания культуры имеют большое значение в стабилизации производства зерна ячменя и повышении его урожайности [7,9].

Одним из эффективных способов решения возникающих проблем может стать использование высококачественных препаратов от ответственного производителя АО Фирма «Август». В настоящее время компания предлагает обширный ассортимент средств защиты растений от раз-

личных вредителей, сорняков и болезней, включая препараты для обработки ярового ячменя. Многочисленными научными исследованиями и производственными испытаниями подтверждена эффективность препаратов компании «Август», которые успешно применяются в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур [2,12,14,16].

Таким образом, целью исследования была оценка системы защиты ярового ячменя от полегания растений и вредных организмов, разработанной АО фирма «Август».

Материалы и методы исследования

Исследования выполняли в 2024 году на серых лесных тяжелосуглинистых почвах в условиях Рязанского района. Объектами исследований выступали растения ярового ячменя сорта «Надежный»; фунгицидный протравитель Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40г/л протиоконазола); средства защиты растений: Ланцея, КМЭ (125 г/л протиоконазола + 100 г/л пикоксистробина); Ракурс, СК (160+240 г/л); Стингрей, КЭ (50 г/л пиноксадена + 12,5 г/л клоквинтосет-мексила); НордСтрим, ВДГ (350г/кг пиклорама +200 г/кг трибенурон-метила + 80 г/кг флорасулама); заболевания ячменя: стеблевые и корневые гнили, сетчатая пятнистость (*Drechslera teres* Syn. *Helminthosporium teres*), темно-бурая пятнистость (*Cochliobolus sativus* Syn. *Bipolaris sorokiniana*), карликовая ржавчина (*Puccinia hordei*), мучнистая роса (*Blumeria graminis* Syn. *Erysiphe graminis*), ринхоспориоз (*Rhynchosporium secalis*), сорная растительность (злаковые и двудольные сорняки). Технологические операции по возделыванию ярового ячменя выполнялись в оптимальные агротехнические сроки в соответствии с зональными рекомендациями. В качестве предшественника ярового ячменя был горох посевной. Оценку вли-



яния исследуемого протравителя на посевные качества семян выполняли в цикле лабораторных опытов. При выполнении полевого опыта во время вегетации культуры наблюдали за развитием вредных организмов в посевах ярового ячменя, определяли эффективность применения средств защиты растений, учитывали урожайность культуры и определяли ее структуру. Все исследования проводились по стандартным методикам.

Почвы опытного участка характеризовались слабокислой реакцией почвенного раствора, низкой обеспеченностью гумусом (до 3,5 % по Тюрину), высокой обеспеченностью фосфором и калием (P_2O_5 – до 153 мг/кг, K_2O – до 148 мг/кг по Чирикову).

Условия начала вегетационного периода складывались достаточно благоприятно для проведения полевых работ и подготовки почвы для посева ярового ячменя. Норма среднемесячной температуры апреля $6,8^\circ C$, фактическая температура месяца по данным наблюдений – $11,6^\circ C$. Отклонение от нормы $+4,8^\circ C$. Норма суммы осадков в апреле 41 мм, выпало осадков 36 мм. Эта сумма составляет 87 % от нормы. Самая низкая температура воздуха ($-4,9^\circ C$) была 6 апреля, самая высокая температура воздуха ($26,5^\circ C$) была 11 апреля.

Норма среднемесячной температуры мая $14,0^\circ C$, фактическая температура месяца по данным наблюдений $11,8^\circ C$. Отклонение от нормы $-2,2^\circ C$. Норма суммы осадков в мае 40 мм, выпало осадков 50 мм. Эта сумма состав-

ляет 124 % от нормы. Самая низкая температура воздуха ($-3,1^\circ C$) была 4 мая, самая высокая температура воздуха ($30,5^\circ C$) была 31 мая.

Норма среднемесячной температуры июня $17,4^\circ C$, фактическая температура месяца по данным наблюдений $20,0^\circ C$. Отклонение от нормы $+2,6^\circ C$. Норма суммы осадков в июне 64 мм, выпало осадков: 100 мм. Эта сумма составляет 156 % от нормы. Самая низкая температура воздуха ($9,0^\circ C$) была 23 июня, самая высокая температура воздуха ($30,7^\circ C$) была 30 июня.

Норма среднемесячной температуры июля $19,6^\circ C$, фактическая температура месяца по данным наблюдений: $21,5^\circ C$. Отклонение от нормы $+1,9^\circ C$. Норма суммы осадков в июле 78 мм, выпало осадков 111 мм.

Эта сумма составляет 142 % от нормы. Самая низкая температура воздуха ($10,1^\circ C$) была 7 июля, самая высокая температура воздуха ($32,8^\circ C$) была 3 июля.

Норма среднемесячной температуры августа $17,7^\circ C$, фактическая температура месяца по данным наблюдений $18,8^\circ C$. Отклонение от нормы $+1,1^\circ C$. Норма суммы осадков в августе: 55 мм, выпало осадков 19 мм. Эта сумма составляет 35 % от нормы. Самая низкая температура воздуха ($6,7^\circ C$) была 16 августа, самая высокая температура воздуха ($30,8^\circ C$) была 28 августа.

Погодные условия второй половины августа были благоприятны для проведения уборки урожая.



Рис. 1 – Проведение полевого опыта с яровым ячменем по изучению системы защиты культуры, разработанной АО Фирма «Август»

Fig. 1 – Conducting a field experiment with spring barley to study the crop protection system developed by JSC Firm «August»



Осенью проводили дискование агрегатом МТЗ 1221 + БДТ-7 во II декаде августа, затем зяблевую вспашку агрегатом К744 + ПЛН 5-35, 28 августа.

Весной – ранневесеннее боронование БЗТС-1,0, культивация МТЗ 1221+КПЭ-3,8. Внесение минеральных удобрений (азофоска (16:16:16), 2,1 ц/га) в опыте проводили разбросным методом агрегатом МТЗ 1221 + РУН-1 под культивацию почвы.

Семена ярового ячменя на контроле были протравлены смесью препаратов Систива, КС (333 г/л) – 0,6 л/т, Кинто плюс, КС (33,3+33,3+33,3 г/л) – 1,3 л/т и Тиара, КС (350 г/л) – 0,7 л/т. По вариантам опыта посев проводили семенами, протравленными фунгицидным протравителем Стерлинг, ВСК (40+30 г/л) в дозе 1,5 л/т, сплошным рядовым способом сеялкой СЗ-5,4+МТЗ-1221, глубина посева 3,5-4,5 см. После посева проводили прикатывание почвы ЗКШ-6А+МТЗ-1221 на всех вариантах опыта.

По вегетации посевы на всех вариантах опыта против сорной растительности, возбудителей болезней и вредителей обрабатывали баковой смесью гербицидов НордСтрим, ВДГ, (350+200+80 г/кг), Стингрей, КЭ (50+12,5 г/л), системным фунгицидом Ракурс, СК (160+240 г/л),

инсектицидом Борей Нео, СК (125+100+50 г/л). Вторую фунгицидную обработку посевов ячменя проводили в фазу начала колошения препаратом Ланцет, КМЭ (125+100 г/л) 1,0 л/га. Пестициды применяли в соответствии со схемой опыта в рекомендованных для культуры нормах

Результаты исследований и их обсуждение

Посевные качества семян определяют интенсивность начальных ростовых процессов, дальнейшее развитие растений и во многом от них зависит величина урожая, поэтому большое значение имеет предпосевная подготовка семян (табл. 1).

Данные таблицы 1 констатируют некоторое снижение энергии прорастания, лабораторной и полевой всхожести семян ярового ячменя на варианте с обработкой препаратом Стерлинг относительно контрольного варианта. Так, по энергии прорастания показатель был ниже на 0,4 % относительно контроля; по полевой всхожести – ниже на 3,2 % к контролю. В среднем, количество полных всходов ячменя в опыте находилось на уровне 480,9 шт./м² (Стерлинг) – 498,5 шт./м² (контроль).

Биометрические показатели проростков культуры зависели от варианта протравливания (рис. 2).

Таблица 1 – Влияние протравителя семян Стерлинг, ВСК на посевные качества семян ярового ячменя и полевую всхожесть

Вариант	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Полевая всхожесть	
			шт/м ²	%
Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40 г/л протиоконазола) – 1,5 л/т	62,4	91,5	480,9	87,4
Контроль	62,8	92,1	498,5	90,6



3 сутки



7 сутки

Рис. 2 – Влияние протравителя Стерлинг, ВСК на биометрические показатели растений ярового ячменя.

Fig. 2 – The effect of Sterling, VSK mordant on the biometric parameters of spring barley plants.

На третьи сутки после закладки семян на проращивание длина ростков семян ячменя без обработки составила 3,2 см, длина корешков составила 2,8 см, семена прорастали в среднем 5,6 корешками. Обработка семян исследуемыми протравителями способствовала снижению длины ростков на варианте Стерлинг на 0,9 см (-28,1 %). Вместе с тем, у обработанных протра-

вителем семян наблюдалось увеличение длины корешков на варианте Стерлинг на 1,5 см (+53,6 %). Семена, обработанные протравителями, также прорастали большим числом корешков – 5,8 шт. Учеты, проведенные на седьмые сутки, свидетельствовали о сохранении намеченной тенденции при первом учете.

Продолжительность отдельных фаз вегетации

ярового ячменя обусловлена биологическими особенностями вида, сорта, наличием элементов питания, проведением уходовых мероприятий и погодными условиями в период прохождения той или иной фазы вегетации

Погодные условия начала мая 2024 года были аномально холодными, с ночными заморозками, в связи с чем наблюдалось более позднее появление всходов ярового ячменя – через 2,5 недели после посева. В среднем, фенотипические периоды растений варианта с протравителем Стерлинг, ВСК были на 2-3 дня больше, чем на контроле. В период колошение-фаза восковой спелости выявлено удлинение вегетационного периода, в среднем на 2 дня, по опытному варианту к контролю; к полной спелости варианты подошли 10-11 августа, уборка культуры проведена 15 августа.

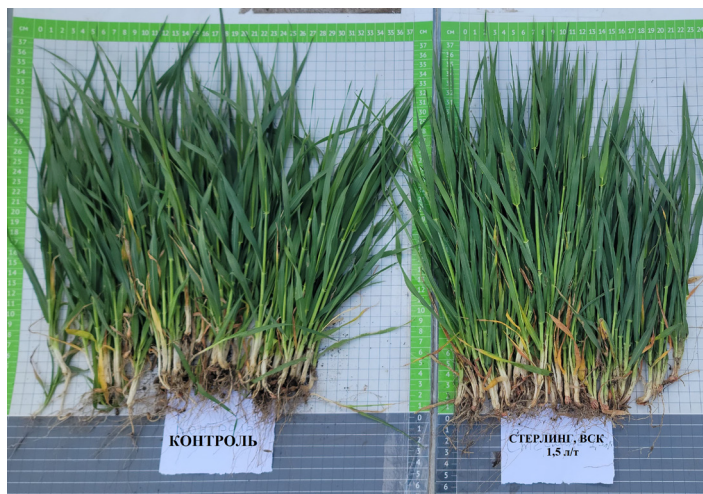
В период активного вегетативного роста ярового ячменя, в фазу трубкования было проведено обследование посевов, результаты по вариантам опыта приведены в таблице 2

Длина корневой системы на варианте Стерлинг, ВСК-1,5 л/т больше на 0,6 см. Длина вегетативной части вытянулась до 2,5 см. Коэффициент кущения практически равнозначен между двумя вариантами.

На вариантах с обработкой препаратом Стерлинг наблюдалось интенсивное продуктивное кущение и более развитая корневая система, что способствовало образованию большего количества продуктивных стеблей, массы 1000 семян и других показателей структуры урожая ярового ячменя (табл. 3).

Таблица 2 – Биометрия растений ярового ячменя в фазу выхода в трубку по вариантам опыта

Вариант	Длина корневой системы, см	Длина вегетативной части растений, см	Коэффициент кущения,
Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола +40 г/л протиоконазола) – 1,5 л/т	3,5	55,2	2,7
Контроль	2,9	52,7	2,2



фаза выхода в трубку



фаза полной спелости

Рис. 3 – Типичные растения ярового ячменя по вариантам опыта.

Fig. 3 – Typical spring barley plants according to experimental options

Таблица 3 – Структура урожая ярового ячменя в зависимости от предпосевной обработки семян

Вариант	Количество растений к уборке, шт./м ²	Количество стеблей, шт./м ²		Коэффициент продуктивного кущения	Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Длина колоса, см	Продуктивность колоса	
		общее	продуктивных					шт	г
Стерлинг, ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40 г/л протиоконазола) – 1,5 л/т	407,6	733,6	619,5	1,52	55,9	46,3	6,3	15,2	0,70



Контроль (без обработки)	388,3	660,1	578,5	1,49	53,5	45,7	5,6	14,9	0,68
НСР ₀₅	32,95				3,95	3,73			

Высокие показатели числа растений к уборке ярового ячменя фиксировались на варианте с действием обработок Стерлинг, ВСК – 407,6, что на 19,3 шт./м² больше к контролю. Следовательно, исследуемый препарат способствовал увеличению сохранности растений к уборке с 77,8 % на контроле до 84,7 %.

Наблюдения за количеством семян в колосе (14,9-15,4 шт.) и массой 1000 семян (45,7-46,8г) показали, что обработка семян исследуемым препаратом в изучаемых дозах незначительно влияла на данные показатели.

Более существенные изменения выявлены по показателю количества продуктивных стеблей на растении. Максимальное количество продуктивных стеблей на растении зафиксировано при

обработке Стерлинг, ВСК – 619,5 шт. (+41,0 шт.), относительно контрольного варианта (578,5 шт.). Коэффициент продуктивного кущения у растений ячменя составил на варианте Стерлинг – 1,52; без обработки – 1,49.

Предпосевная обработка семян ярового ячменя также оказала влияние на высоту растений. На контроле данный показатель был на уровне 53,5 см. Применение препарата Стерлинг способствовало увеличению длины соломины в среднем на 2,4 см (+4,5 %). Несмотря на это, отметим также, что наблюдалось некоторое ее утолщение, что снижало риски полегания посевов.

Урожайные данные, полученные при испытаниях пестицидов в качестве обработки семян, представлены в таблице 4

Таблица 4 – Урожайность ярового ячменя в опыте ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	% к контролю
Стерлинг ВСК (30 г/л дифеноконазола + 40 г/л протиоконазола) – 1,5 л/т	43,0	+3,8	+9,7
Контроль (без обработки)	39,2	-	-

НСР₀₅, ц/га – 3,42

Средняя урожайность ярового ячменя на контроле составила 39,2 ц/га. Прибавка по варианту предпосевной обработки Стерлинг зафиксирована на уровне +3,8 ц/га (+9,7 %), при средней урожайности 43,0 ц/га.

В период вегетации культуры проводили учеты развития заболеваний и засоренности посевов, а также оценку биологической эффективности применяемой системы защиты растений.

Корневые гнили на ячмене учитывали в два срока: кущение культуры и формирование второго узла стебля. Установлено, что заболевание было слабо выражено, растения ячменя были поражены по первому баллу. На контрольном варианте в среднем ярусе культуры заметны некоторые желтоватые проявления в виде пятен, а также скручиваний кончиков листьев. На варианте с препаратом Стерлинг, ВСК – 1,5 л/т, средний ярус чистый (без повреждений), характерные пятна отмечены в нижнем ярусе. При первом учете развитие корневых гнилей ячменя находилось в пределах 1,8-2,6 %, распространенность болезни при этом составила 7,4-10,5 %. При втором учете развитие болезни возросло до 3,0-3,7 % при частоте встречаемости 12,0-14,9 %. Значительных различий пораженности растений ярового ячменя корневыми

гнилями по вариантам применяемых протравителей выявлено не было.

В полевом опыте в условиях вегетационного периода 2024 года среди листостебельных заболеваний ярового ячменя распространение получила только гельминтоспориозная пятнистость листьев (сетчатая и темно-бурая). В период конца кущения-начала выхода в трубку на растениях были обнаружены первые признаки заболевания. При первом учете развитие болезни по вариантам опыта составило в пределах 7,8-8,2 % при распространенности заболевания 28,9-30,0 %.

Обработка растений ярового ячменя фунгицидом Ракурс способствовала снижению развития заболевания и препятствовала распространению инфекции на последующие яруса листьев. Так, относительно контроля снижение развития заболевания по вариантам опыта произошло в пределах 18-18,2 %, а распространенность – 58,6-58,9 %. Расчет биологической эффективности обработки посевов ячменя фунгицидом Ракурс показал, что спустя десять дней после обработки снижение развития гельминтоспориоза находилось на уровне 31,44 %. На тридцатые сутки эффективность применения фунгицида Ракурс возросла до 72,1 % (рис. 4).

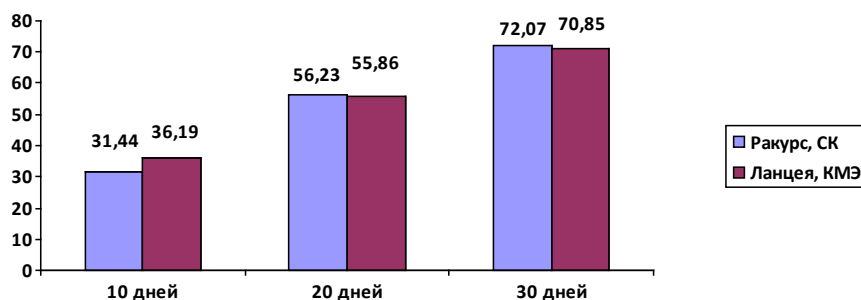


Рис. 4 – Биологическая эффективность применения фунгицидов Ракурс, СК и Ланцея, КМЭ в защите ярового ячменя от сетчатой и темно-бурой пятнистости

Fig. 4 – The biological effectiveness of the use of fungicides Rakurs, SK and Lancea, KME in protecting spring barley from reticulated and dark brown spots

В последующие учеты гелиминтоспориозной пятнистости листьев ячменя установлено дальнейшее нарастание степени развития заболевания на контроле. Так индекс развития заболевания достиг до 35,8 % при распространенности заболевания – 98,6 %. Обработка посевов фунгицидом Ланцея, КМЭ способствовало снижению дальнейшего развития заболевания, что отразилось на формировании здорового листового аппарата. На вариантах опыта развитие и распространенность заболевания снизились до 4,4 % и 20,3 %.

Биологическая эффективность применения фунгицида Ланцея, КМЭ в период вегетации ярового ячменя по вариантам предпосевной обработки препаратом Стерлинг составила 70,85 %.

Среди сорной растительности были представлены однолетние двудольные сорняки – пикульник обыкновенный, марь белая, ромашка непахучая, ярутка полевая, а также злаковые сорняки – просо куриное, щетинник зеленый, овсюг пустой. Из многолетних сорняков встречались главным образом вьюнок полевой и бодяк полевой. Засоренность посевов оценивалась как средняя.

Число сорных растений из группы однолетних двудольных в период вегетации ярового ячменя колебалось в пределах 22,6-85,3 шт/м², многолетних двудольных – 2,5-4,2 шт/м², численность злаковых сорняков находилась в пределах 13,7-92,3 шт/м².

Применение гербицидов НордСтрим, ВДГ и Стингрей способствовало значительному снижению степени засоренности посевов ярового ячменя и высокому уровню биологической эффективности. Так, в отношении однолетних двудольных сорных растений снижение засоренности произошло на 95,6-96,6 %, в отношении многолетних двудольных – на 94,0-95,7 % по вариантам опыта. В отношении злаковых сорных растений эффективность была также высока – 96,8-97,5 %.

Закключение

На основании проведенных исследований для повышения устойчивости растений ячменя к полеганию, увеличения сопротивляемости заболеваниям и формирования урожая рекомендуем к применению в технологии выращивания ярового ячменя предпосевную обработку семян препаратом Стерлинг, ВСК – 1,5 л/т семян. В опыте наблюдалась высокая эффективность системы за-

щиты растений ячменя ярового с использованием средств защиты растений: Ланцея, КМЭ, Ракурс, СК, Стингрей, КЭ, НордСтрим, ВДГ.

Список источников

1. Адаптивность, пластичность и стабильность сортов ярового ячменя по показателю «урожайность» в зависимости от применяемых биопрепаратов / О.В. Мельникова, И.А. Сальникова, В.Е. Ториков, Д.М. Мельников // Вестник Брянской ГСХА. – 2023. – № 6(100). – С. 30-35. – DOI 10.52691/2500-2651-2023-100-6-30-35. – EDN RWYTCW.
2. Антонов В.Г., Дементьев Д.А. Эффективность комплексной защиты озимой пшеницы новыми препаратами АО Фирмы «Август» / В.Г. Антонов, Д.А. Дементьева // Научно-производственный «Зернобобовые и крупяные культуры». – 2019. – №3(31). – С. 97-103. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11122.
3. Бакаева, Н.П. Влияние систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна ярового ячменя / Н.П. Бакаева, А.С. Васильев, В.Г. Кутилкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2. – С. 3-9. – DOI 10.55170/19973225_2023_8_2_3. – EDN QMCXFH.
4. Власова, Л.М. Баковые инсектофунгицидные смеси для защиты ярового ячменя / Л.М. Власова, О.В. Попова // Защита и карантин растений. – 2024. – № 4. – С. 19-20. – DOI 10.47528/1026-8634_2024_4_19. – EDN FAWOAX.
5. Горянин, О.И. Оптимизация норм высева ярового ячменя в Поволжье / О.И. Горянин, Л.В. Пронович, Б.Ж. Джангабаев // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 44-50. – DOI 10.28983/asj.y2023i11pp44-50. – EDN DKSOJB.
6. Дорошенко, Е.С. Устойчивость ярового ячменя к возбудителям листовых болезней / Е.С. Дорошенко, Н. В. Шишкин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 2. – С. 55-63. – DOI 10.26898/0370-8799-2023-2-7. – EDN NNQHIU.
7. Ламмас, М.Е. Динамика численности сорной растительности при обработке биостимуляторами роста растений в посевах ярового ячменя / М.Е. Ламмас, А.В. Шитикова // Известия Дагестанского ГАУ. – 2022. – № 4(16). – С. 84-88. – DOI 10.52671/26867591_2022_4_84. – EDN NADQQG.
8. Левакова, О.В. Хозяйственно ценные показатели ячменя Любояр / О.В. Левакова, О.В.



Гладышева, Л.М. Ерошенко // Аграрная наука. – 2024. – № 4. – С. 75-79. – DOI 10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79. – EDN BATRXY.

9. Оценка эффективности биологических фунгицидов в различных системах защиты ярового ячменя / В.В. Букреев, А.К. Лысов, Д.О. Морозов, Н.И. Наумова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 6(396). – С. 628-632. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_6_628. – EDN RGYJAR.

10. Предпосевная подготовка семян как эффективный прием снижения вредоносности корневых гнилей и повышения продуктивности растений ячменя / А.А. Соколов, Д. В. Виноградов, Г.Д. Гогмачадзе, П.Н. Балабко // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 1(31). – С. 15.

11. Рябцева, Н. А. Влияние росторегулирующих препаратов на продуктивность ярового ячменя / Н.А. Рябцева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1(57). – С. 59-63. – DOI 10.18286/1816-4501-2022-1-59-63. – EDN YPMPXO.

12. Стрельцова Н.В., Прудникова С.В., Кураченко Н.Л., Бопп Н.Л. Влияние депонированной формы комплексного пестицидного препарата на структуру урожая зерновых культур и заболеваемость корневыми гнилями / Н.В. Стрельцова, С.В.

Прудникова, Н.Л. Кураченко, и др. // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – С. 16.

13. Фитосанитарное состояние посевов зерновых культур в условиях Рязанской области / Д. В. Виноградов, А.А. Соколов, О.В. Черкасов [и др.] // Международный технико-экономический журнал. – 2016. – № 5. – С. 57-63.

14. Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Воропаев В.В. Интегрированная защита ячменя ярового на Северо-Западе России / А.М. Шпанев, А.Б. Лаптиев, Н.Р. Гончаров и др. // Защита карантин растений. – 2020. – №6. – С. 30-36. – ZGRQQE.

15. Эффективность предпосевной обработки семян ячменя градиентным магнитным полем и биологическим препаратом "Гуми 80" / А. А. Соколов, В. И. Левин, М. М. Крючков, Д. В. Виноградов // Международный научный журнал. – 2015. – № 5. – С. 98-104.

16. Mirgorodskaya A.B., Kushnazarova R.A., Zakharova L.Ya., Ulyanova A.A., Litvinov D.Y., Blinkov A.O., Divashuk M.G., Kochanova I.A., Nesterova L.M. Enhanced Herbicidal Action of Clopyralid in the Form of a Supramolecular Complex with a Gemini Surfactant // Agronomy. – 2023. — Том: 13. Выпуск: 4. — Номер статьи: 973. — DOI: 10.3390/agronomy13040973.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. *Adaptivnost, plastichnost i stabilnost sortov yarovogo yachmenya po pokazatelyu «urozhaynost» v zavisimosti ot primenyaemykh biopreparatov* / O. V. Melnikova, I. A. Salnikova, V. E. Torikov, D. M. Melnikov // Vestnik Bryanskoy GSKhA. – 2023. – № 6(100). – S. 30-35. – DOI 10.52691/2500-2651-2023-100-6-30-35. – EDN PWYTCW.

2. Antonov V.G., Dementyev D.A. *Effektivnost kompleksnoy zashchity ozimoy pshenitsy novymi preparatami AO Firmy «Avgust»* / V.G. Antonov, D.A. Dementyeva // Nauchno-proizvodstvennyy «Zernobobovye i krupyanye kul'tury». – 2019. – №3(31). – S. 97-103. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11122.

3. Bakaeva, N. P. *Vliyaniye sistem obrabotki pochvy i udobreniy na strukturu urozhaya i kachestvo zerna yarovogo yachmenya* / N. P. Bakaeva, A. S. Vasilyev, V. G. Kutilkin // Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2023. – № 2. – S. 3-9. – DOI 10.55170/19973225_2023_8_2_3. – EDN QMCXFH.

4. Vlasova, L. M. *Bakovye insektofungitsidnye smesi dlya zashchity yarovogo yachmenya* / L. M. Vlasova, O. V. Popova // Zashchita i karantin rasteniy. – 2024. – № 4. – S. 19-20. – DOI 10.47528/1026-8634_2024_4_19. – EDN FAWOAX.

5. Goryanin, O. I. *Optimizatsiya norm vyseva yarovogo yachmenya v Povolzh'ye* / O. I. Goryanin, L. V. Pronovich, B. Zh. Dzhangabaev // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. – 2023. – № 11. – S. 44-50. – DOI 10.28983/asj.y2023i11pp44-50. – EDN DKSOJB.

6. Doroshenko, E. S. *Ustoychivost yarovogo yachmenya k vozbuditelyam listovykh bolezney* / E. S. Doroshenko, N. V. Shishkin // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2023. – T. 53, № 2. – S. 55-63. – DOI 10.26898/0370-8799-2023-2-7. – EDN NNQHIU.

7. Lammas, M. E. *Dinamika chislennosti sornoy rastitelnosti pri obrabotke biostimulyatorami rosta rasteniy v posevakh yarovogo yachmenya* / M. E. Lammas, A. V. Shitikova // Izvestiya Dagestanskogo GAU. – 2022. – № 4(16). – S. 84-88. – DOI 10.52671/26867591_2022_4_84. – EDN NADQQG.

8. Levakova, O. V. *Khozyaystvenno tsennyye pokazateli yachmenya Lyuboyar* / O. V. Levakova, O. V. Gladysheva, L. M. Eroshenko // Agrarnaya nauka. – 2024. – № 4. – S. 75-79. – DOI 10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79. – EDN BATRXY.

9. *Otsenka effektivnosti biologicheskikh fungitsidov v razlichnykh sistemakh zashchity yarovogo yachmenya* / V. V. Bukreev, A. K. Lysov, D. O. Morozov, N. I. Naumova // Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. – 2023. – № 6(396). – S. 628-632. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_6_628. – EDN RGYJAR.

10. *Predposevnaya podgotovka semyan kak effektivnyy priem snizheniya vredonosnosti kornevykh gniley i povysheniya produktivnosti rasteniy yachmenya* / A. A. Sokolov, D. V. Vinogradov, G. D. Gogmachadze, P. N.



Balabko // AgroEkoInfo. – 2018. – № 1(31). – S. 15.

11. Ryabtseva, N. A. Vliyanie rostoreguliruyushchikh preparatov na produktivnost yarovogo yachmenya / N. A. Ryabtseva // Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2022. – № 1(57). – S. 59-63. – DOI 10.18286/1816-4501-2022-1-59-63. – EDN YPMPXO.

12. Streltsova N.V., Prudnikova S.V., Kurachenko N.L., Bopp N.L. Vliyanie deponirovannoy formy kompleksnogo pestitsidnogo preparata na strukturu urozhaya zernovykh kultur i zabolevaemost kornevymi gnilyami / N.V. Streltsova, S.V. Prudnikova, N.L. Kurachenko, i dr. // AgroEkoInfo: Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal. – 2023. – № 1. – S. 16.

13. Fitosanitarnoe sostoyanie posevov zernovykh kultur v usloviyakh Ryazanskoy oblasti / D. V. Vinogradov, A. A. Sokolov, O. V. Cherkasov [i dr.] // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. – 2016. – № 5. – S. 57-63.

14. Shpanev A.M., Laptiev A.B., Goncharov N.R., Voropaev V.V. Integrirovannaya zashchita yachmenya yarovogo na Severo-Zapade Rossii / A.M. Shpanev, A.B. Laptiev, N.R. Goncharov i dr. // Zashchita ikarantin rasteniy. – 2020. – №6. – S. 30-36. – ZGRQQE.

15. Effektivnost predposevnoy obrabotki semyan yachmenya gradientnym magnitnym polem i biologicheskim preparatom "Gumi 80" / A. A. Sokolov, V. I. Levin, M. M. Kryuchkov, D. V. Vinogradov // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. – 2015. – № 5. – S. 98-104.

16. Mirgorodskaya A.B., Kushnazarova R.A., Zakharova L.Ya., Ulyanova A.A., Litvinov D.Y., Blinkov A.O., Divashuk M.G., Kochanova I.A., Nesterova L.M. Enhanced Herbicidal Action of Clopyralid in the Form of a Supramolecular Complex with a Gemini Surfactant // Agronomy. – 2023. — Tom: 13. Vypusk: 4. — Nomer stati: 973. — DOI: 10.3390/agronomy13040973.

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

Соколов Андрей Андреевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», falcon-agro@mail.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», vdv-rz@rambler.ru

Вертелецкий Алексей Игоревич, аспирант кафедры агрономии и защиты растений, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», alexverteletski@mail.ru

Крылов Вадим Александрович, руководитель группы питания и регуляции роста растений, АО Фирма «Август», v.krylov@avgust.com

Гуртовой Александр Леонидович, специалист группы зерновых культур, АО Фирма «Август», a.gurtovoy@avgust.com

Author Information

Sokolov Andrey A., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, falcon-agro@mail.ru

Vinogradov Dmitry V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, vdv-rz@rambler.ru

Verteletsky Alexey I., Postgraduate student of the Department of Agronomy and Plant Protection, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, alexverteletski@mail.ru

Krylov Vadim A., Head of the Nutrition and Plant Growth Regulation Group at August JSC, v.krylov@avgust.com

Gurtovoy Alexander L., Specialist of the Grain crops Group of August Company JSC, a.gurtovoy@avgust.com

Статья поступила в редакцию 17.01.2025; одобрена после рецензирования 20.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 17.01.2025; approved after reviewing 20.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 619:616.155.3:636.926
DOI: 10.36508/RSATU.2025.81.63.013

**ГЕНЕРАЦИЯ АФК В КРОВИ КРОЛИКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ «ГУМАТА КАЛИЯ 80»
В КАЧЕСТВЕ РАДИОПРОТЕКТОРА**

Арина Сергеевна Федотова^{1✉}, Галина Владимировна Макарская², Александр Алексеевич Жигарев³

^{1,3} ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

² Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск, Россия

¹ krasfas@mail.ru

² mgv@icm.krasn.ru

³ Zhigarev98@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. В биосфере происходят изменения техногенного радиационного фона, расширяются территории с повышенным уровнем радиации, в настоящее время основные радиобиологические воздействия определяются низкоинтенсивным излучением изотопов: ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{14}C . Предполагается, что воздействие радиации в субклинических дозах на многоклеточный организм не вызывает нарушения системных функций, но может изменять физиологические процессы на клеточном и тканевом уровнях, а также трансформировать гомеостаз организма. Оценка биоэффектов малых доз радиации в настоящее время представляет научный интерес. В связи с увеличением концентрации изотопов ^3H в биосфере, изучение тритиевого воздействия на организм животных, подбор препаратов с радиопротекторным действием являются актуальными. В работе приведены данные по тритиевому загрязнению биосферы. Статья посвящена оценке продукции свободных радикалов кислорода при тритиевом воздействии в субклинических дозах (6,78 мГр) на организм кроликов и при применении радиопротектора «Гумат калия 80». В статье оценены радиопротекторные свойства «Гумат калия 80» при тритиевом воздействии в субклинических дозах на организм кроликов.

Методология. Объект исследования – суммарная продукция активных форм кислорода в периферической крови кроликов при тритиевом воздействии и при применении радиопротектора «Гумат калия 80». Работа выполнена в 2023 году на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины, в центре медико-биологических исследований «Исследование экстремальных состояний организма» Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». Отбор проб периферической крови у кроликов осуществляли из краевой ушной вены в вакуумные пробирки с натрий-гепарином. Расчет поглощенной дозы внутреннего облучения при тритиевом воздействии проводили согласно методике, разработанной на кафедре радиохимии, в лаборатории радионуклидов и меченых соединений химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Количество спонтанных и активированных радикалов кислорода оценивали хемилюминесцентным методом на 36-канальном комплексе «Хемилюминометр 3604-ПЭВМ».

Результаты. Воздействие трития в дозе 6,87 мГр в русле крови кроликов вызывает увеличение количество спонтанных первичных радикалов в 2,56 раза и вторичных АФК в 3,58 раза, что доказывает теорию увеличения АФК в организме животных при воздействии ионизирующего излучения. В присутствии трития снижается индекс активации хемилюминесцентной реакции. Предлагается использование хемилюминесцентного анализа как одного из способов для оценки влияния субклинических доз радиации на организм животных. Радиопротекторное действие препарата «Гумат калия 80» обусловлено снижением суммарного количества спонтанных вторичных АФК и увеличением количества антиген активированных АФК. При тритиевом воздействии в качестве радиопротектора рекомендуется использование препарата «Гумат калия 80» в дозе 10^{-4} г/л.

Ключевые слова: тритий, малые дозы, радикалы кислорода, люцигенин, люминол, венозная кровь, кролики, поглощенная доза

Для цитирования: Федотова А.С., Макарская Г.В., Жигарев А.А. Генерация АФК в крови кроликов при применении «Гумата калия 80» в качестве радиопротектора // Вестник Рязанского госу-



Original article

GENERATION OF ROS IN THE BLOOD OF RABBITS WITH THE USE OF "POTASSIUM HUMATE 80" AS A RADIOPROTECTOR

Arina S. Fedotova ^{1✉}, Galina V. Makarskaya ², Alexander A. Zhigarev ³

^{1,3} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

² Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS", Krasnoyarsk, Russia

¹ krasfas@mail.ru

² mgv@icm.krasn.ru

³ Zhigarev98@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. The technogenic radiation background in the biosphere is changing, areas with elevated radiation levels are expanding, and currently the main radiobiological effects are determined by low-intensity radiation of the following isotopes: ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{14}C . It is assumed that the effect of radiation in subclinical doses on a multicellular organism does not cause disruption of systemic functions, but can change physiological processes at the cellular and tissue levels, as well as transform the homeostasis of the organism. Evaluation of bioeffects of small doses of radiation is currently of scientific interest. Due to the increase in the concentration of ^3H isotopes in the biosphere, the study of the tritium effect on the animal organism and the selection of drugs with a radioprotective effect are relevant. The paper presents data on tritium contamination of the biosphere. The article is devoted to the evaluation of the production of oxygen free radicals during tritium exposure in subclinical doses (6.78 mGy) on the organism of rabbits and when using the radioprotector "Potassium Humate 80". The article evaluates the radioprotective properties of "Potassium Humate 80" under tritium exposure in subclinical doses on the body of rabbits.

Methodology. The object of the study is the total production of active oxygen forms in the peripheral blood of rabbits under tritium exposure and with the use of the radioprotector "Potassium Humate 80". The work was carried out in 2023 at the Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals of the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine, in the Center for Medical and Biological Research "Study of Extreme States of the Body" of the Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Peripheral blood samples from rabbits were collected from the marginal ear vein into vacuum tubes with sodium heparin. The absorbed dose of internal irradiation under tritium exposure was calculated according to the methodology developed at the Department of Radiochemistry, in the Laboratory of Radionuclides and Labeled Compounds of the Chemistry Faculty of Moscow State University named after M.V. Lomonosov. The number of spontaneous and activated oxygen radicals was estimated by the chemiluminescent method on the 36-channel Chemiluminometer 3604-PEVM complex.

Results. The effect of tritium at a dose of 6.87 mGy in the bloodstream of rabbits causes an increase in the number of spontaneous primary radicals by 2.56 times and secondary ROS by 3.58 times, which proves the theory of an increase in ROS in the body of animals when exposed to ionizing radiation. In the presence of tritium, the activation index of the chemiluminescent reaction decreases. It is proposed to use chemiluminescent analysis as one of the methods for assessing the effect of subclinical doses of radiation on the body of animals. The radioprotective effect of the drug "Potassium Humate 80" is due to a decrease in the total number of spontaneous secondary ROS and an increase in the number of antigen-activated ROS. In case of tritium exposure, it is recommended to use the drug "Potassium Humate 80" as a radioprotector in a dose of 10^{-4} g/l.

Key words: tritium, low doses, oxygen radicals, lucigenin, luminol, venous blood, rabbits, absorbed dose

For citation: Fedotova A.S., Makarskaya G.V., Zhigarev A.A. Generation of ROS in the blood of rabbits when using "Potassium Humate 80" as a radioprotector // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 1, P.93-99 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.81.63.013](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.81.63.013)

Введение

В биосфере происходят изменения техногенного радиационного фона, расширяются территории с повышенным уровнем радиации, в настоящее время основные радиобиологические воздействия определяются низкоинтенсивным излучением изотопов: ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{14}C . Предполагается, что воздействие на многоклеточный

организм радиации в субклинических дозах не вызывает нарушения системных функций, но может изменять физиологические процессы на клеточном и тканевом уровнях, а также трансформировать гомеостаз организма. Оценка биоэффектов малых доз в настоящее время представляет научный интерес. Существует необходимость определения радиобиологических эффектов, возникаю-



щих в организме животных при воздействии малых доз радиации. В связи с увеличением удельной активности трития в объектах окружающей среды изучение тритиевого воздействия на организм животных, подбор препаратов с радиопротекторным действием являются актуальными.

Тритий (^3H) – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 12,3 года, бета-излучатель с энергией бета-частиц – 18,59 КэВ [1, 2], в биосфере присутствует в виде естественного и антропогенного изотопов. Природный ^3H образуется в результате взаимодействия протонов и нейтронов вторичного космического излучения с атомами атмосферы: N , O_2 , Ar [3]. Согласно нормам Агентства по охране окружающей среды (США), предельно допустимая концентрация (ПДК) ^3H составляет 740 Бк/л, в Евросоюзе – 100 Бк/л, в России – 7700 Бк/л [4]. В промышленных газо-аэрозольных выбросах предприятий ядерного топливного цикла ^3H содержится в основном в трех соединениях: тритиевая вода (НТО), тритированный водород (НТ) и тритированный метан (CH_3T) [5, 6, 7]. Эффективный период нахождения НТ и CH_3T в атмосфере оценивается в 5-10 лет.

В настоящее время фоновая концентрация ^3H в воде составляет 0,12 Бк/л, 90 % природного ^3H находится в виде тритированной воды в гидросфере, 6,8 % – в стратосфере и 0,4 % – в тропосфере. Определено, что миграция ^3H в биосфере происходит в виде НТО [6]. При контакте поверхности воды с атмосферой, содержащей пары ^3H , изотоп попадает в воду и растворяется в ней. Тритий попадает в водоемы с осадками в результате вымывания из воздуха [8], он включается в цепь миграции: вода – почва – растение – животные – агропродукция. Вблизи радиационно-опасных объектов ^3H хорошо накапливается в окружающей среде [3].

Радиопротекторные препараты предоставляют защиту организма при действии ионизирующего излучения, в основном предохраняют кроветворные ткани от негативного воздействия. Различают по действию быстрые (1-2 часа) и пролонгированные (7-10 суток) препараты. Выделяют радиопротекторы, рекомендуемые при острой лучевой болезни, препараты от субклинических доз и вещества с низкой противолучевой активностью, используемые для снижения последствий облучения. Эффект противолучевой защиты выявлен у вакцин, адаптогенов, иммуномодуляторов, гормональных средств, нуклеиновых кислот, микроэлементов. Радиопротекторное действие вакцин (тетравакцины, БЦЖ и др.) обусловлено повышением устойчивости организма к инфекционным заболеваниям. Механизм биозащиты адаптогенов (прополис, мумие, и др.) заключается в ослаблении морфологических и биохимических проявлений стресса, снижении интенсивности пролиферативных реакций, увеличении иммунологической реактивности организма [3, 9]. В настоящее время установлена эффективность применения «Гумата калия 80» в качестве детоксиканта при воздействии ^{232}Th в растворе на бактериальные клетки [10].

Данная работа – продолжение исследований по оценке субклинических доз ионизирующего из-

лучения на организм сельскохозяйственных животных и на клетки крови в опытах «in vitro». Ранее авторами определены изменения хемилюминесцентных характеристик крови коров при облучении «in vitro» проб крови в дозах 4-5 мГр [11] и 100-500 мГр [12], определена продукция АФК клетками крови коров в агробиоценозах с дозовой нагрузкой 0,92 мГр/год, 1,33 мГр/год и 1,55 мГр/год [13]. Федотовой А.С. и Жигаревым А.А. оценена кинетика продукции первичных радикалов кислорода клетками крови кроликов при субклинической дозе трития в 6,87 мГр [14].

Цель исследования – оценить продукцию свободных радикалов кислорода при тритиевом воздействии в субклинических дозах на организм кроликов и при применении «Гумат калия 80» в качестве радиопротектора.

Задачи исследования – определить суммарную спонтанную и активированную продукцию первичных и вторичных радикалов кислорода в периферической крови кроликов при воздействии тритиевой воды и при применении радиопротектора «Гумат калия 80», оценить радиопротекторные свойства «Гумат калия 80».

Методология и методы исследования

Эмпирические данные получены в 2023 году на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и в центре медико-биологических исследований «Исследование экстремальных состояний организма» Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

Исследования проведены на трех группах кроликов калифорнийской породы: опытная группа (10 голов), контрольная – 15 голов, интактный (токсический) контроль – 10 голов. Средний возраст кроликов – $12 \pm 0,3$ мес., вес – $4 \pm 0,5$ кг. Животные клинически здоровы: температура тела – $38,6 \pm 0,3^\circ\text{C}$, ЧДД – 42 ± 4 дыхательных движений в минуту, пульс – 179 ± 23 удара в минуту. Кровь для исследования отбирали из краевой ушной вены в утренние часы в вакуумные пробирки с натрий-гепарином. Кролики опытной и интактной групп в течение 30 дней получали НТО (третиевую воду активностью 1 МБк в количестве 2,72 мл /сут. вносили в воду для поения), в результате у животных сформирована субклиническая доза 6,87 мГр. Кроликам опытной группы в течение 20 дней совместно с НТО задавался радиопротектор «Гумат калия 80» в дозе 1×10^{-4} г/л. Контроль продукции АФК в периферической крови проводили на 8-е, 13-е и 20-е сутки применения радиопротектора. Расчет поглощенной дозы внутреннего облучения при тритиевом воздействии проводили согласно методике, разработанной на кафедре радиохимии, в лаборатории радионуклидов и меченых соединений химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Кролики содержались в индивидуальных клетках в условиях зоофермы, рацион кормления и система содержания кроликов всех групп не отличались.

Результаты исследований и их обсуждение



Суммарная спонтанная и активированная продукция АФК оценивалась хемилюминесцентным (ХЛ) методом на 36-канальном комплексе «Хемилюминометр 3604-ПЭВМ». Для усиления ХЛ-реакции использовали индикаторы: люцигенин и люминол, обладающие избирательностью к первичным и вторичным радикалам. Для активации ХЛ-реакции «in vitro» применяли частицы латекса. Время записи ХЛ-кривой составило 90 мин., при температуре +38° С [15]. В работе определяли площадь под ХЛ кривой (S , имп. за 90 мин), характеризующую общий объем образованных АФК, рассчитывали индекс активации ($IA = S_{\text{акт}}/S_{\text{спонт.}}$, усл. ед.).

«Гумат калия 80» (humic acid, калиевая соль гуминовых кислот), химическая формула – $C_9H_8K_2O_4$ представляет собой порошок чёрного цвета, хорошо растворим в воде, pH 9-11. Гуминовые кислоты – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений под воздействием микроорганизмов. Химические процессы при гумификации протекают таким образом, что с течением времени образуются стойкие соединения, способные противостоять дальнейшим изменениям и минерализации. Процесс образования гуминовых кислот связан с биохими-

ческой деятельностью бактерий и низших грибов, а углеводы прямого участия в нем не принимают. Источниками гуминовых кислот является лигнин и его предшественники [16].

Хемилюминесцентный анализ позволяет выявлять тонкие колебания функционального состояния клеток крови, реализующих защитные механизмы неспецифической резистентности организма на молекулярном уровне.

В результате работы установлено, что суммарное количество спонтанно образующихся первичных радикалов в интактном контроле (6,87 мГр) в 2,56 раза ($P \leq 0,001$) превышало данные контрольной группы (рис 1), что доказывает теорию увеличения АФК в организме животных при воздействии ионизирующего излучения. При использовании «Гумата калия 80» изменений в спонтанной продукции первичных радикалов относительно интактного контроля (6,87 мГр) не установлено, соответственно, можно заключить, что гумат калия не блокирует первичные радикалы кислорода в организме животных. При применении радиопротектора выявлено превышение спонтанной продукции первичных АФК на 8-е сутки – в 2,54 раза, на 13-е сутки – в 2,97 раз, на 20-е сутки – в 1,82 раза относительно контрольной группы.

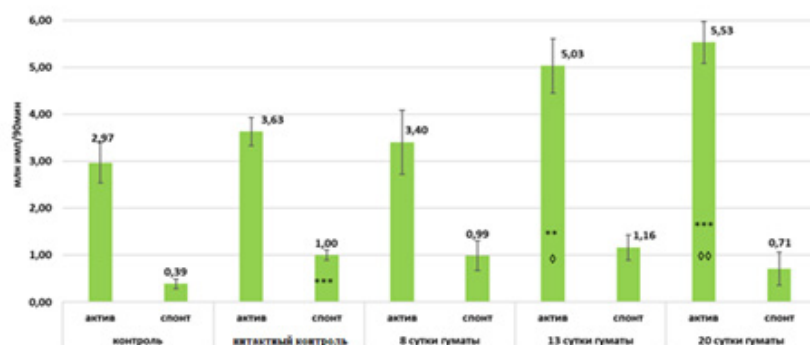


Рис. 1 – Суммарная продукция первичных радикалов кислорода:

* – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ в отношении к контролю; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ в отношении к интактному контролю (6,87 мГр)
Fig. 1 – Total production of primary oxygen radicals: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ in relation to the control; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ in relation to the intact control (6.87 mGy)

Количество антигенактивированных первичных АФК в группе интактного контроля находится в диапазоне значений контрольной группы. При применении «Гумата калия 80» на 13-е сутки регистрируется достоверное увеличение количества антиген активированных первичных АФК – в 1,69 раза ($P \leq 0,01$), на 20-е сутки – в 1,86 раза ($P \leq 0,001$) относительно данных контрольной группы. Использование препарата «Гумат калия 80» на 13-е сутки увеличивает количество антиген активированных первичных АФК в периферической крови кроликов – в 1,48 раза ($P \leq 0,05$), на 2-е сутки – в 1,62 раза ($P \leq 0,01$) относительно интактного контроля (6,87 мГр).

При воздействии трития в дозе 6,78 мГр спонтанная генерация вторичных АФК увеличивалась аналогично спонтанной продукции первичных АФК. Суммарное количество спонтанных АФК в интактном контроле (6,87 мГр) увеличивалось в 3,58 раза ($P \leq 0,001$) относительно контрольной группы (рис. 2). Применение препарата «Гумат

калия 80» снижает спонтанную продукцию вторичных радикалов кислорода, что доказывает радиопротекторное действие. При использовании «Гумата калия 80» количество спонтанных вторичных АФК снижалось на 8-е сутки – в 1,74 раза ($P \leq 0,05$), на 13-е сутки – в 2,97 раза ($P \leq 0,01$) на 20-е сутки – в 1,53 раза ($P \leq 0,01$) относительно интактного контроля (рис. 2).

Динамика антигенактивированных вторичных радикалов кислорода аналогична динамике антиген- активированных первичных АФК. Количество антигенактивированных вторичных АФК при действии трития (интактный контроль) не изменялось и находилось в значениях контрольной группы. При применении препарата «Гумат калия 80» на 13-е сутки выявлено увеличение суммарной продукции вторичных АФК – в 1,78 раза ($P \leq 0,01$), на 20-е сутки – в 2,44 раза ($P \leq 0,001$).

На основании данных по количеству образованных спонтанных и активированных АФК рассчитано значение индекса активации (ИА).



Воздействие трития на организм кроликов значительно снижает индекс активации хемилюминесцентной реакции, при дозе 6,78 мГр уменьшение

ИА составило 80,24 % ($P \leq 0,001$) относительно данных контрольной группы (рис. 3).

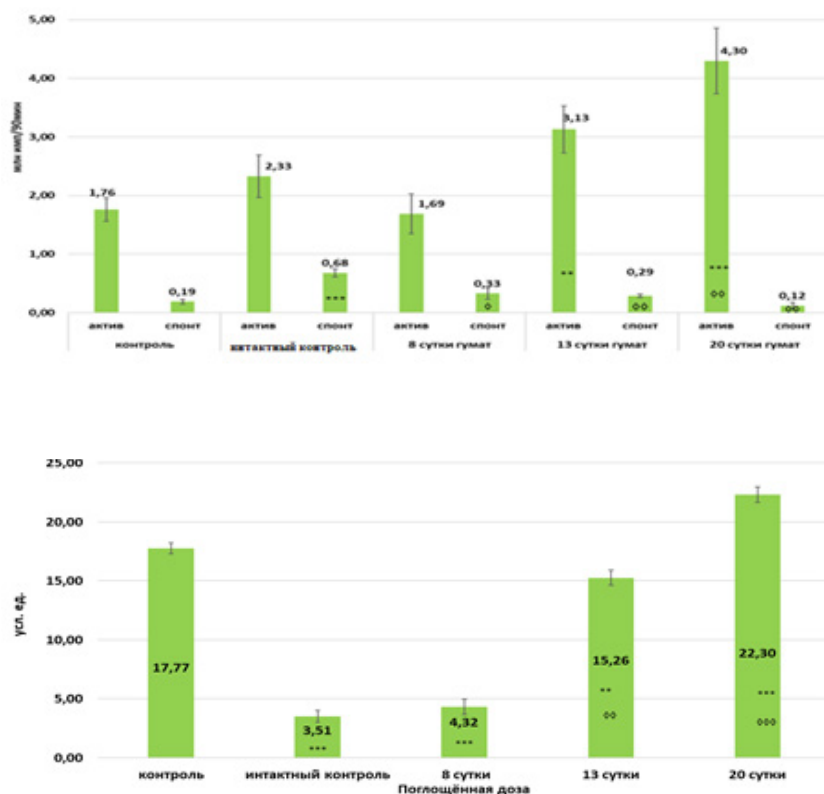


Рис. 2 – Суммарная продукция вторичных радикалов кислорода:

* – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ в отношении к контролю; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ в отношении к интактному контролю (6,87 мГр).

Fig. 2 – Total production of secondary oxygen radicals: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ in relation to the control; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ in relation to the intact control (6,87 mGy).

Рис. 3 – Индекс активации хемилюминесцентной реакции: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ в отношении к контролю; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ в отношении к интактному контролю (6,87 мГр).

Fig. 3 – Activation index of the chemiluminescent reaction: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,05$; *** – $P \leq 0,001$ in relation to the control; $\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond$ – $P \leq 0,05$; $\diamond\diamond\diamond$ – $P \leq 0,001$ in relation to the intact control (6,87 mGy).

Применение радиопротектора «Гумат калия 80» восстанавливало (увеличивало) ИА хемилюминесцентной реакции клеток крови. На 8-е сутки использования «Гумата калия 80» снижение ИА составило 75,69 % ($P \leq 0,001$) относительно контроля. В динамике значений ИА при применении радиопротектора прослеживалось линейное увеличение, которое к 20-м суткам приблизилось к данным контрольной группы (рис. 3). Выявлено достоверное увеличение индекса активации при использовании «Гумат калия 80» на 13-е и 20-е сутки в 4,35 раз ($P \leq 0,01$) и 6,35 раз соответственно ($P \leq 0,001$) относительно данных интактного контроля (6,87 мГр).

Закключение

В работе установлено увеличение спонтанной продукции первичных и вторичных АФК в периферической крови кроликов при действии трития в дозе 6,78 мГр. При действии трития снижается индекс активации хемилюминесцентной реакции. На основании этого рекомендуется использование хемилюминесцентного анализа как одного из методов диагностики радиационного поражения организма кроликов, вызванного влиянием субклинических доз ионизирующего излучения.

При воздействии трития на организм кроликов препарат «Гумат калия 80» снижает суммарную продукцию вторичных радикалов кислорода, что уменьшает деструктивное действие ионизирующего излучения на клетки организма животных. Применение радиопротектора увеличивает про-

дукцию антигена активированных АФК, это свидетельствует об увеличении антигенной активности клеток крови и резистентности организма животных. В результате можно заключить, что при тритиевом воздействии в качестве радиопротектора рекомендуется использование «Гумат калия 80» в дозе 1×10^{-4} г/л.

Список источников

- Агданцева Е. Н. Исследование адаптивной реакции популяции дрожжевых клеток на действие ионизирующего излучения / Е. Н. Агданцева, А. А. Баранова, И. Н. Бажукова // Тезисы докладов IV Международ. молодежной науч. конф. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 162-163.
- Асаенко, И.С. Радиационная безопасность : учеб. пособие для студ. техн. спец. / И.С. Асаенко, А.И. Навоша. – Минск, 2004.
- Басова, М. А. Дозиметрия внутреннего облучения крупного рогатого скота радиоактивными изотопами йода: дис. магистр.: 03.04.02 / Басова Мария Андреевна – Обнинск, 2021. – 91 с.
- Васянович М.Е., Екидин А.А., Крышев и др. Воздействие на население радиоактивного излучения от Н-3 и С-14, поступающего в атмосферу с выбросами АЭС России // В кн.: VIII съезд по радиационным исследованиям. Москва, Россия, 2021; 374.
- Барчуков, В.Г. Формирование современных подходов к оценке радиационной безопасности трития и его соединений / В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков // VIII Съезд по радиационным исследованиям: тезисы докладов – Москва: Объединенный



институт ядерных исследований. – 2021. – С. 366.

6. Ливанцова, С. Ю. Техногенный тритий в окружающей среде / С. Ю. Ливанцова, В. В. Снакин // Жизнь Земли. – 2014. – Т. 35-36. – С. 261-269. – EDN ZDIPPD.

7. Hayashida, K. Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia-reperfusion injury. / K. Hayashida, M. Sano, I. Ohsawa et al. // BiochemBiophys Res Commun. – 2008. – V. 373. – P.5-30.

8. Бондарева, Л.Г. Закономерности распределения и уровни воздействия антропогенных загрязнений на речную экосистему: автореф. дисс. д-ра биол. наук: 03.02.08 / Бондарева Лидия Георгиевна – Москва, 2020. – 36 с.

9. Гребенюк, А.Н. Практическое руководство по использованию медицинских средств противорадиационной защиты при чрезвычайных ситуациях и обеспечению ими аварийных медико-санитарных формирований и региональных аварийных центров / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, В.Д. Гладких А.А., Тимошевский, В.Б. Назаров. Науч.-производ. центр «Фармзащита» Федер. мед.-биол. аг-ва Росии. – М.: Комментарий, 2015. – 304 с.

10. Федотова А.С., Жигарев А.А., Макарская Г.В. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 мГр / А.С. Федотова, А.А. Жигарев, Г.В. Макарская // Ученые записки учреждения образования «витебская ордена «Знак почета» Государственная академия ветеринарной медицины. 2022. Т.58, выпуск 3. С65-73. DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.

11. А. Соловьёв В.С., Колесник О.В. Гуминовые вещества как радиопротекторы. биолюминесцентный мониторинг / В.С. Соловьёв, О.В. Колесник // Шаг в будущее: результаты научных исследований: мат-лы Всероссийского конкурса научно-исследовательских проектов студентов, аспирантов и молодых ученых. – Елец: ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 2021. С 146-155.

12. Федотова А.С., Жигарев А.А., Макарская

Г.В. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 мГр / А.С. Федотова, А.А. Жигарев, Г.В. Макарская // Ученые записки учреждения образования «витебская ордена «Знак почета» Государственная академия ветеринарной медицины. 2022. Т.58, выпуск 3. С65-73. DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.

13. Федотова А. С., Макарская Г.В. Хемиллюминесцентные характеристики периферической крови при облучении *in vitro* в диапазоне доз 100-500 мГр / А.С. Федотова, Г.В. Макарская // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24 № 03. С. 368-380. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-368-380

14. Федотова А.С., Турицына Е.Г., Макарская Г.В. Генерация свободных радикалов клетками крови коров при субклинических дозах радиации / А. С. Федотова, Е.Г. Турицына, Г.В. Макарская // Вестник КрасГАУ. 2024. № 7. С. 151-160. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-151-160.

15. Федотова А.С., Жигарев А.А. Кинетика генерации первичных АФК клетками крови кроликов при субклинической дозе трития / А.С. Федотова, А.А. Жигарев // Инновационные решения актуальных вопросов биологической, токсикологической и радиационной безопасности для АПК: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Х.Х. Абдуллина «Инновационные решения актуальных вопросов биологической, токсикологической и радиационной безопасности для АПК», Казань, 28-29 ноября 2024 г. Казань, ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», 2024. С. 640-644.

16. Турицына Е.Г., Федотова А.С. Хемиллюминесцентный анализ в ветеринарной медицине: опыт и перспективы применения // монография; Краснояр. гос. аграрн. ун-т. Красноярск, 2022. 152с., 9,5 п.л.

17. Гуминовая кислота калия (C₉H₈K₂O₄) // Интернет-магазин GreenAgrolab URL: <https://greenagrolab.ru/products/guminovaya-kislota-kaliya-c9h8k2o4---10-gramm>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

References

1. Agdantseva Ye. N. Issledovaniye adaptivnoy reaktsii populyatsii drozhzhevykh kletok na deystviye ioniziruyushchego izlucheniya / Ye. N. Agdantseva, A. A. Baranova, I. N. Bazhukova // Tezisy dokladov IV Mezhdunar. molodezhnoy nauch. konf. – Yekaterinburg: UrFU, 2017. С. 162-163.

2. Asayenok, I.S. Radiatsionnaya bezopasnost' : ucheb. posobiye dlya stud. tekhn. spets. / I.S. Asayenok, A.I. Navosha. – Minsk, 2004.

3. Basova, M. A. Dozimetriya vnutrennego oblucheniya krupnogo rogatogo skota radioaktivnymi izotopami yoda: dis. magistr.: 03.04.02 / Basova Mariya Andreyevna – Ovrinsk, 2021. – 91 s.

4. Vasyanovich M. Ye., Yekidin A.A., Kryshev i dr. Vozdeystviye naneseniye radioaktivnogo izlucheniya ot H-3 i C-14, postupayushchego v atmosferu s vybrosami AES Rossii // V kn.: VIII s"yezd po radiatsionnym issledovaniyam. Moskva, Rossiya, 2021; 374.

5. Barchukov, V.G. Formirovaniye sovremennykh podkhodov k otsenke radiatsionnoy bezopasnosti tritiya i yego soyedineniy / V.G. Barchukov, O.A. Kochetkov // VIII S"yezd po radiatsionnym issledovaniyam: tezisy dokladov – Moskva: Ob"yedinennyy institut yadernykh issledovaniy. – 2021. – S. 366.

6. Livantsova, S. YU. Tekhnogennyy tritiiy v okruzhayushchey srede / S. YU. Livantsova, V. V. Snakin // Zhizn' Zemli. – 2014. – Т. 35-36. – S. 261-269. – EDN ZDIPPD.

7. Hayashida, K. Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia-reperfusion injury. / K. Hayashida, M. Sano, I. Ohsawa et al. // BiochemBiophys Res Commun. – 2008. – V. 373. – R.5-30.



8. Bondareva, L.G. *Zakonomernosti raspredeleniya i urovni vozdeystviya antropogennykh zagryazneniy na rechnuyu ekosistemu: avtoref. diss. d-ra biol. nauk: 03.02.08 / Bondareva Lidiya Georgiyevna – Moskva, 2020. – 36 s.*
9. Grebenyuk, A.N. *Prakticheskoye rukovodstvo po ispol'zovaniyu meditsinskih sredstv protivoradiatsionnoy zashchity pri chrezvychaynykh situatsiyakh i obespecheniyu imi avariynykh mediko-sanitarnykh formirovaniy i regional'nykh avariynykh tsentrov / A.N.Grebenyuk, V.I. Legeza, V.D. Gladkikh, A.A., Timoshevskiy, V.B.Nazarov. Nauch.-proizvod. tsentr «Farmzashchita» Feder. med.-biol. ag-va Rossii. – M.: Kommentariy, 2015. – 304 s.*
10. Fedotova A.S., Zhigarev A.A., Makarskaya G.V. Radiobiologicheskiye efekty v perifericheskoy krovi krupnogo rogatogo skota pri pogloshchennykh dozakh 4 i 5 mGr / A.S. Fedotova, A.A. Zhigarev, G.V. Makarskaya // *Uchenyye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «vitebskaya ordena «Znak pocheta» Gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny. 2022. T.58, vypusk 3. S65-73. DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.*
11. A. Solov'ev V.S., Kolesnik O.V. Guminovyye veshchestva kak radioprotektory. bioluminestsentnyy monitoring / V.S. Solov'ev, O.V. Kolesnik // *Shag v budushcheye: rezul'taty nauchnykh issledovaniy: mat-ly Vserossiyskogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh proyektov studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. – Yelets: FGBOU VO «Yeletskiy gosudarstvennyy universitet im. I.A. Bunina», 2021. S 146-155.*
12. Fedotova A.S., Zhigarev A.A., Makarskaya G.V. Radiobiologicheskiye efekty v perifericheskoy krovi krupnogo rogatogo skota pri pogloshchennykh dozakh 4 i 5 mGr / A.S. Fedotova, A.A. Zhigarev, G.V. Makarskaya // *Uchenyye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «vitebskaya ordena «Znak pocheta» Gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny. 2022. T.58, vypusk 3. S65-73. DOI 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.*
13. Fedotova A. S., Makarska G.V. Khemilyuminestsentnyye kharakteristiki perifericheskoy krovi pri obluchenii invitro v diapazone doz 100-500 mGr / A.S. Fedotova, G.V. Makarskaya // *Agrarnyy vestnik Urala. 2024. T. 24 № 03. S. 368-380. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-368-380*
14. Fedotova A.S., Turitsyna Ye.G., Makarskaya G.V. Generatsiya svobodnykh radikalov kletkami krovi korov pri subklinicheskikh dozakh radiatsii / A. S. Fedotova, Ye.G. Turitsyna, G.V. Makarskaya // *Vestnik KrasGAU. 2024. № 7. S. 151-160. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-151-160.*
15. Fedotova A.S., Zhigarev A.A. Kinetika generatsii pervichnykh AFK kletkami krovi krolikov pri subklinicheskoy doze tritiya / A.S. Fedotova, A.A. Zhigarev // *Innovatsionnyye resheniya aktual'nykh voprosov biologicheskoy, toksikologicheskoy i radiatsionnoy bezopasnosti dlya APK: sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchonnoy pamyati professora KH.KH. Abdullina «Innovatsionnyye resheniya aktual'nykh voprosov biologicheskoy, toksikologicheskoy i radiatsionnoy bezopasnosti dlya APK», Kazan', 28-29 noyabrya 2024 g. Kazan', FGBNU «FTSTRB-VNIVI», 2024. S. 640-644.*
16. Turitsyna Ye.G., Fedotova A.S. Khemilyuminestsentnyy analiz v veterinarnoy meditsine: opyt i perspektivy primeneniya // monografiya; Krasnoyar. gos. agrarn. un-t. Krasnoyarsk, 2022. 152s., 9,5 p.l.
17. Guminovaya kislota kaliya (C9H8K2O4) // Internet-magazin GreenAgrolab URL: <https://greenagrolab.ru/products/guminovaya-kislota-kaliya-c9h8k2o4---10-gramm>

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Федотова Арина Сергеевна, д-р биол. наук, доцент, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, krasfas@mail.ru

Макарская Галина Владимировна, канд. биол. наук, ст. научн. сотрудник международного научного центра исследований экстремальных состояний организма, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск, mgv@icm.krasn.ru

Жигарев Александр Алексеевич, ассистент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Zhigarev98@mail.ru

Author Information

Fedotova Arina S., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, krasfas@mail.ru

Makarskaya Galina V., Candidate of Agricultural Sciences, Research Institute of Extreme Conditions of the Body, Federal Research Centre «Krasnoyarsk Science Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science», Krasnoyarsk, mgv@icm.krasn.ru

Zhigarev Alexander A., Assistant, Department of Internal Non-Communicable Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals, Krasnoyarsk State University, Krasnoyarsk, Zhigarev98@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 03.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 16.01.2025; approved after reviewing 03.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.

Научная статья
УДК 62-65
DOI: 10.36508/RSATU.2025.75.26.014

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБОГРЕВА ЛОБОВОГО СТЕКЛА АВТОМОБИЛЯ

Владимир Николаевич Батманов¹, Иван Васильевич Фадеев²✉, Юрий Хасанович Шогенов³, Сергей Николаевич Смирнов⁴

^{1,4} ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», г. Чебоксары, Россия

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева», г. Чебоксары, Россия

³ ФГБУ «Российская академия наук», (РАН), г. Москва, Россия

¹ bvn.academi-gsxa@yandex.ru

² ivan-fadeev-2012@mail.ru

³ yh1961@yandex.ru

⁴ smirnof911@yandex.ru

Аннотация

Проблема и цель. Обогрев ветрового стекла – достаточно длительный процесс, в течение которого двигатель автомобиля работает, расходуя топливо и загрязняя атмосферу отработавшими газами. С целью снижения расхода топлива и загрязнения атмосферы испытано устройство для ускорения обогрева ветрового стекла.

Методология. Эксперименты по определению продолжительности времени обогрева ветрового стекла в зависимости от температуры наружного воздуха проводились по трем вариантам: вариант I – обогрев лобового стекла осуществлялся штатной системой отопления и вентиляции автомобиля УАЗ-236021 «Профи»; вариант II – разработанным устройством; вариант III – комбинация вариантов I и II. Фиксировалось время с момента запуска двигателя и устройства до полного удаления запотевания и наледи с лобового стекла. Вентиляторы подключались в максимальный режим.

Результат. В варианте II экспериментов время обогрева ветрового стекла сокращается в 1,5 раза, в варианте III – в 2 раза в сравнении с вариантом I. Это объясняется тем, что источники тепла предлагаемого устройства нагреваются намного быстрее, чем охлаждающая жидкость двигателя, поступающая в радиатор отопителя. Получены уравнения, описывающие зависимость времени обогрева ветрового стекла от температуры наружного воздуха, решая которые, можно определить время обогрева лобового стекла при конкретной температуре наружного воздуха.

Заключение. Проведённые исследования подтверждают эффективность разработанного устройства. Его применение существенно сокращает время обогрева лобового стекла, что способствует снижению расхода топлива, объема отработанных газов, выбрасываемых автомобилем в атмосферу в режиме обогрева стекла, и повышению безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: автомобиль, климатическая система, обогрев лобового стекла, расход топлива, загрязнение атмосферы, температура наружного воздуха

Для цитирования: Батманов В.Н., Фадеев И.В., Шогенов Ю.Х., Смирнов С.Н. Устройство для ускорения процесса обогрева лобового стекла автомобиля // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.100-105 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.75.26.014>

Original article

DEVICE FOR ACCELERATION OF THE PROCESS OF HEATING OF THE WINDSHIELD OF THE CAR

Vladimir N. Batmanov¹, Ivan V. Fadeev²✉, Yuri H. Shogenov³, Sergey N. Smirnov⁴

^{1,4} Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia



² I. Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University, Cheboksary, Russia

³ Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹ bvn.academi-gsxa@yandex.ru

² ivan-fadeev-2012@mail.ru

³ yh1961@yandex.ru

⁴ smirnov911@yandex.ru

Abstract

Problem and purpose. Windshield heating is a fairly long process during which the car engine operates, consuming fuel and polluting the atmosphere with exhaust gases. In order to reduce fuel consumption and atmospheric pollution, a device for accelerating windshield heating has been tested.

Methodology. Experiments to determine the duration of windshield heating time depending on the outside air temperature were conducted in three variants: Option I – windshield heating was performed by the standard heating and ventilation system of the UAZ-236021 "Profi"; Option II – by the developed device; Option III – a combination of options I and II. The time from the moment the engine and the device were started until the fogging and ice were completely removed from the windshield was recorded. The fans were connected to the maximum mode.

Results. In the second variant of the experiments, the windshield heating time is reduced by 1.5 times, in the third variant – by 2 times in comparison with the first variant. This is explained by the fact that the heat sources of the proposed device heat up much faster than the engine coolant entering the heater radiator. Equations describing the dependence of the windshield heating time on the outside air temperature are obtained, solving which it is possible to determine the windshield heating time at a specific outside air temperature.

Conclusion. The conducted studies confirm the efficiency of the developed device. Its use significantly reduces the time of heating the windshield, which helps to reduce fuel consumption, the volume of exhaust gases emitted by the car into the atmosphere in the glass heating mode, and improves road safety.

Key words: car, climate control system, heated windshield, fuel consumption, air pollution, outside air temperature

For citation: Batmanov V.N., Fadeev I.V., Shogenov Yu.H., Smirnov S.N. Device for accelerating the process of heating the windshield of a car // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 1. P.100-105 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.75.26.014>

Введение

Климатические системы автомобилей, в зависимости от уровня комплектации, могут быть представлены различными вариантами: от базовой системы отопления и вентиляции без кондиционера, управляемой вручную, до комплектации с кондиционером, предусматривающим как ручное, так и автоматическое управление климатом в салоне (так называемая версия «Люкс») [1, 2].

Современные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха объединены в единую комплексную систему, основная задача которой заключается в обеспечении комфортных условий в салоне автомобиля. Эти системы выполняют следующие функции [3, 4]:

- создание оптимального микроклимата для водителя и пассажиров путем управления процессами обмена, циркуляции, нагрева и охлаждения воздуха;

- предотвращение образования инея, льда и конденсата на стеклянных поверхностях салона посредством обдува и обогрева остекления.

Отопительная система салона, являясь неотъемлемой частью климатической системы, преимущественно используется в холодный период. В качестве теплоносителя в ней обычно применяется антифриз или тосол, циркулирующий по контуру системы охлаждения двигателя [5, 6]. В момент необходимости нагрева теплоноситель перенаправляется в радиатор отопителя, что обеспечивается изменением положения заслонки по-

средством специального рычага. При закрытом положении заслонки поток минует радиатор, а при открытом – проходит через него, нагреваясь. По достижении рабочей температуры радиатора активируется вентилятор, который распределяет тепло по салону через систему воздуховодов. Воздуховоды размещаются на передней панели и направлены на лобовое и боковые стекла, а также в зону ног водителя и пассажиров. В зависимости от модели автомобиля воздуховоды могут быть дополнительно выведены к задним сиденьям, обеспечивая подачу воздуха в режимах «на пассажира» или «в ноги», с возможностью регулировки направления потока.

Система вентиляции отвечает за циркуляцию и очистку воздуха в салоне. Воздух, забираемый из подкапотного пространства, проходит через фильтры, где очищается и поступает в салон без изменения температуры [7, 8]. Интенсивность подачи регулируется скоростью вращения вентилятора. Для управления потоками воздуха используются заслонки, которые могут открывать или перекрывать доступ наружного воздуха. В режиме рециркуляции заслонки перекрывают забор воздуха извне, и в салоне циркулирует только внутренний воздух. Этот режим особенно полезен при движении по пыльным или задымленным участкам дороги, так как предотвращает попадание загрязнений внутрь салона. Система вентиляции также поддерживает оптимальные параметры свежести, влажности и чистоты воздуха, что, в свою очередь,



предотвращает запотевание стекол при неблагоприятных погодных условиях.

Система кондиционирования, установленная в ряде автомобилей, предназначена для охлаждения воздуха в салоне, что особенно важно в жаркое время года. Основная функция кондиционера – поддержание комфортной температуры, предотвращение перегрева водителя и пассажиров. Кондиционер может быть представлен в двух вариантах: в виде стандартного устройства для охлаждения воздуха или системы климат-контроля, которая обеспечивает поддержание заданной температуры автоматически, вне зависимости от внешних условий [9, 10].

В штатной системе отопления и вентиляции автомобиля воздушные потоки распределяются заслонками, управляемыми системой климат-контроля, или вручную. Воздух для обогрева лобового стекла проходит через соответствующий воздухопровод, расположенный в верхней части корпуса отопителя, и направляется к дефлекторам, расположенным вблизи основания лобового стекла [11, 12].

Активизация климатической системы автомобиля увеличивает долю мощности двигателя, направляемой на обеспечение работы вспомогательных устройств. Это, в свою очередь, приводит к повышению расхода топлива транспортным средством [13, 14]. Особенно заметно влияние функционирования таких систем на топливную эффективность при работе двигателя на холостом ходу, когда автомобиль не движется, а естественные воздушные потоки отсутствуют [13, 15].

Уровень расхода топлива и содержание вредных веществ в отработавших газах транспортного средства зависят от множества факторов, включая использование вспомогательных систем и характер условий эксплуатации. Включение климатической системы при работе двигателя на холостом ходу способствует увеличению объема выхлопных газов. Эти газы примерно на 95-98 % состоят из продуктов полного сгорания топлива, азота и кислорода, оставшихся от атмосферного воздуха, и на 2-5 % включают сотни различных химических соединений. Именно эти вещества определяют степень негативного воздействия автомобиля на окружающую среду.

Даже продукты полного сгорания, такие как углекислый газ (CO_2), оказывают вредное воздействие на экологическое состояние, способствуя, например, усилению парникового эффекта [13]. Таким образом, для сокращения выбросов выхлопных газов, а значит, и уменьшения доли токсичных веществ, поступающих в атмосферу, необходимо снижать общий расход топлива автомобилем. Это может быть достигнуто за счет оптимизации работы климатических систем, уменьшения времени работы двигателя на холостом ходу и применения энергоэффективных технологий в конструкции транспортных средств [12].

Обогрев ветрового стекла требует достаточно большого промежутка времени, в течение которого двигатель автомобиля работает, расходуя топливо и загрязняя атмосферу отработавшими газами [13]. В настоящее время основная часть парка автомобилей в ночное время находит сто-

янку на придомовых территориях жилых домов. Несложно представить, сколько токсичных веществ выбрасывается в атмосферу двигателями этих автомобилей, особенно в утренние часы, при обогреве салона и лобового стекла. В первую очередь, от этого страдают жители нижних этажей.

Повышение эффективности и ускорение процесса обогрева лобового стекла улучшает обзорность автомобиля, что, в свою очередь, положительно сказывается на безопасности движения.

Вышеизложенное обуславливает актуальность исследований по сокращению времени обогрева ветрового стекла автомобиля.

Материалы и методы исследования

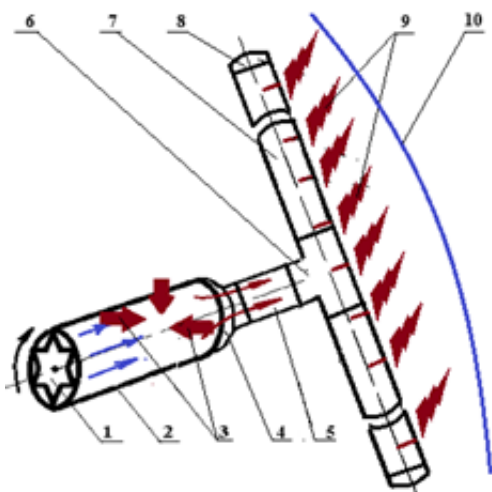
Проведены исследования по повышению эффективности и ускорению процесса обогрева лобового стекла автомобиля УАЗ-236021 «Профи» с целью обеспечения снижения расхода топлива и загрязнения атмосферы токсичными веществами, содержащимися в отработавших газах.

Для проведения исследований было использовано устройство, схема которого приведена на рисунке 1. Для изготовления устройства в качестве основного материала служили пластиковые канализационные трубы диаметром $\varnothing 110$ и $\varnothing 50$, переходник с $\varnothing 110$ на $\varnothing 50$, тройник на $\varnothing 50$. В качестве источника тепла для нагрева, нагнетаемого вентилятором 1 воздуха, использованы автомобильные лампы НЗ на 100 Вт в количестве 3 штук, которые закреплены к стенке трубы под углом 120° относительно друг друга в одной плоскости. На трубе 8 через 50 мм друг от друга выполнены сквозные прорезы размером 7×25 мм, через которые теплый воздух подается на обогрев лобового стекла 10. Электроснабжение устройства предусмотрено через прикуриватель.

Эксперименты по определению продолжительности времени обогрева ветрового стекла до полного удаления запотевания и наледи в зависимости от температуры наружного воздуха выполнялись по трем вариантам. Отчет времени начинали с момента пуска двигателя автомобиля и включения устройства.

Выбор автомобиля УАЗ-236021 «Профи» (рис. 2) для экспериментов обоснован тем, что данная модель нашла широкое применение для перевозки небольших партий сельскохозяйственных грузов, может быть оборудована в мобильную мастерскую для ремонта и обслуживания сельскохозяйственной техники в полевых условиях.

УАЗ 236021 – это модификация малотоннажного коммерческого автомобиля «УАЗ Профи», который благодаря своей универсальности и высокой проходимости широко применяется в различных сферах, включая сельское хозяйство. Его возможности в сельском хозяйстве обусловлены конструктивными особенностями и техническими характеристиками. УАЗ-236021 «Профи» является отличным выбором для фермеров и сельскохозяйственных предприятий благодаря сочетанию проходимости, универсальности и возможности адаптации под различные нужды. Автомобиль подходит как для регулярных транспортных задач, так и для специализированного использования в условиях сложного рельефа и бездорожья.



- 1 – вентилятор трехскоростной; 2 – труба пластиковая Ø110; 3 – лампа автомобильная НЗ на 100 Вт; 4 – переходник с Ø110 на Ø50 пластиковый; 5, 7 – труба пластиковая Ø50; 6 – тройник на Ø50 пластиковый; 8 – заглушка на Ø50 пластиковая; 9 – теплый воздух; 10 – лобовое стекло

Рис. 1 – Устройство для ускорения обогрева лобового стекла автомобиля

- 1 – three-speed fan; 2 – plastic pipe Ø110; 3 – car lamp H3 100 W; 4 – adapter from Ø110 to Ø50 plastic; 5, 7 – plastic pipe Ø50; 6 – tee for Ø50 plastic; 8 – plug for Ø50 plastic; 9 – warm air; 10 – windshield

Fig. 1 – Device for accelerating heating of the car windshield:

При проведении экспериментов по первому варианту обогрева лобового стекла осуществлялся штатной системой отопления и вентиляции автомобиля УАЗ-236021 «Профи». При этом поворотный переключатель распределения потоков воздуха находился в положении «обдув ветрового стекла», поворотный переключатель управления температурой подаваемого на лобовое стекло воздуха находился в крайнем правом положении

(«максимум»), поворотный переключатель управления вентилятором установлен в положение «7», т.е. на максимальное значение скорости вентилятора, кнопочный переключатель интенсивного обдува ветрового стекла включен (загорается световой индикатор, весь поток воздуха направляется на ветровое стекло, вентилятор включается на максимальную скорость).

По второму варианту обогрев лобового стекла осуществлялся с подключением предлагаемого устройства в максимальном режиме работы вентилятора.

В третьем варианте экспериментов обогрев лобового стекла выполнялся комбинацией первых двух вариантов, т.е. при включенной штатной системе отопления и вентиляции автомобиля с подключением предлагаемого устройства.



Рис. 2 – Внешний вид автомобиля УАЗ-236021 «Профи»

Fig. 2 – The exterior of the UAZ-236021 "Profi" vehicle

Результаты исследования

Результаты исследований, проведенных по вышеприведенной методике, приведены в таблице и на рисунке 3.

Таблица – Продолжительность времени обогрева ветрового стекла в зависимости от температуры наружного воздуха

Варианты	Температура наружного воздуха, °C								
	–20	–15	–10	–5	0	5	10	15	20
I	10	8	7	6	4	4	3	3	2
II	7	6	5	5	3	3	2	1	1
III	6	5	4	3	2	2	1	1	1

Анализируя данные таблицы и рисунка 3, можно сделать вывод, что при использовании предлагаемого устройства для обогрева лобового стекла без включения штатной системы отопления и вентиляции автомобиля время обогрева снижается почти в 1,5 раза (сравнить варианты I и II). Это можно объяснить тем, что источники тепла предлагаемого устройства нагреваются намного быстрее, чем жидкость в системе охлаждения двигателя автомобиля, которая поступает в радиатор отопителя.

При совместной работе штатной системы отопления автомобиля и предлагаемого устройства (вариант III) время обогрева лобового стекла сни-

жается почти в 2 раза (сравнить варианты I и III).

Зависимость продолжительности обогрева ветрового стекла от температуры наружного воздуха по всем вариантам экспериментов имеет полиномиальный характер.

Получены уравнения, описывающие эту зависимость по вариантам экспериментов:

- вариант I: $y = 0,0114x^2 - 0,2143x + 4,7762$;
- вариант II: $y = 0,0103x^2 - 0,2864x + 3,5$;
- вариант III: $y = 0,0138x^2 - 0,2183x + 2,119$.

Решая полученные уравнения, можно заранее определить продолжительность обогрева лобового стекла при конкретной температуре наружного воздуха.

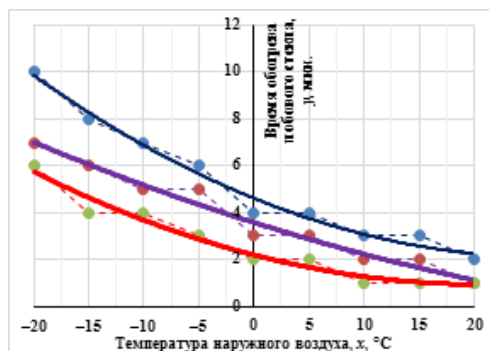


Рис. 3 – Зависимость продолжительности обогрева ветрового стекла от температуры наружного воздуха по вариантам экспериментов: – вариант I; – II вариант II; – III вариант III

Fig. 3 – Dependence of the duration of windshield heating on the outside air temperature according to the experimental variants: – Option I; – Option II; – Option III

Закключение

По результатам исследования можно сделать вывод, что предлагаемое устройство является эффективной разработкой для сокращения времени обогрева лобового стекла, что также способствует снижению расхода топлива, объема отработанных газов, выбрасываемых автомобилем в атмосферу в режиме обогрева стекла, и повышению безопасности дорожного движения.

Список источников

1. Якунин, И.Н. Результаты исследования эффективности климатических систем автомобиля в условиях жаркого климата / И.Н. Якунин, Н.Н. Якунин, А.Ф. Фаттахова, Ш.М. Минатуллаева // Вестник СибАДИ. – 2021. – №6. – С. 712-719.
2. Фадеев, И.В. Исследование растворимости и ингибиторного действия систем моно-, тетра-, пентаборат натрия - этилендиамин - вода при 25°C / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, В.К. Половняк // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 13-17.
3. Курносов, Н.Е. Испарительно-вихревой автомобильный кондиционер / Н.Е. Курносов, К.В. Лебединский, А.А. Николотов, Д.П. Алексеев // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 5. – С. 30-33.
4. Павлов, В.С. Коррозия деталей легковых автомобилей / В.С. Павлов, В.Е. Рязанов, И.В. Фадеев // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. докладов восьмой российской научно-практической конференции, 2007. – С. 247-250.
5. Фадеев, И.В. Влияние моноэтаноламин-тетра-боратаммония в составе защитного покрытия на электрохимическое поведение стали 08кп / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2016. – № 12. – С. 15-20.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Yakunin, I.N. Rezul'taty issledovaniya effektivnosti klimaticheskikh sistem avtomobilya v usloviyakh zharkogo klimata / I.N. Yakunin, N.N. Yakunin, A.F. Fattakhova, SH.M. Minatullayeva // Vestnik SibADI. – 2021. – №6. – S. 712-719.
2. Fadeyev, I.V. Issledovaniye rastvorimosti i ingibitornogo deystviya sistem mono-, tetra-, pentaborat natriya - etilendiamin - voda pri 25°S / I.V. Fadeyev, SH.V. Sadetdinov, V.K. Polovnyak // Nauchno-tekhicheskiy vestnik

6. Бышов, Н.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мойки деталей [Текст] / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев, Г.А. Александрова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 20-24.

7. Бышов, Н.В. Влияние величины зазора на скорость щелевой коррозии автотракторной техники / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Цымбал и др. // Известия Нижневолжского АУК: Наука и высшее профессиональное образование. – № 2 (58). – С. 328-337.

8. Фадеев, И.В. Растворы на основе амидоборатов для получения магнетитных покрытий / И.В. Фадеев, И.Е. Илларионов, Ш.В. Садетдинов // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы 2-й Республиканской науч.-техн. конф. – Чебоксары, 2016. – С. 52-57.

9. Буренин, В.В. Кондиционеры и системы кондиционирования воздуха для кабин грузовых автомобилей / В.В. Буренин, Д.К. Воробьев // Грузовик. – 2017. – №5. – С. 29-37.

10. Фадеев, И.В. Аммиак – ингибитор коррозии черных металлов / И.В. Фадеев, В.В. Белов, И.Н. Смолина // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 26. – С. 21-24.

11. Петров, А.П. Конструкционные особенности вентиляторных установок легковых автомобилей / А.П. Петров, С.Н. Сеницын, С.Н. Банников // Известия МГТУ «МАМИ». – 2016. – №3 (29). – С. 50-57.

12. Бышов, Н.В. Ингибитор коррозии для растворов синтетических технологических средств / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГСХА, 2019. – С. 411-417.

13. Горбунова, А.Д. Инновационные подходы к исследованию влияния работы установки «климат-контроль» на расход топлива и выбросы вредных веществ автомобильного транспорта / А.Д. Горбунова, И.А. Анисимов, Л.Н. Буракова, С.А. Клементьев // Инноватика и экспертиза. – 2019. – Выпуск 2(27). – С. 10-20.

14. Фадеев, И.В. Экологически безвредный материал для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии / И.В. Фадеев, Н.Н. Белова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – № 21. – С. 56-59.

15. Фадеев, И.В. Влияние моноборатов лития, натрия, калия на моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 2 (34). – С. 86-90.



Povolzh'ya. – 2014. – № 5. – S. 13-17.

3. Kurnosov, N.Ye. Isparitel'no-vikhrevoy avtomobil'nyy konditsioner / N.Ye. Kurnosov, K.V. Lebedinskiy, A.A. Nikolotov, D.P. Alekseyev // *Avtomobil'naya promyshlennost'*. – 2019. – № 5. – S. 30-33.

4. Pavlov, V.S. Korroziya detaley legkovykh avtomobiley / V.S. Pavlov, V.Ye. Ryazanov, I.V. Fadeyev // *Progressivnyye tekhnologii v transportnykh sistemakh: sb. dokladov vos'moy rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 2007. – S. 247-250.

5. Fadeyev, I.V. Vliyaniye monoetanolamintetra-boratammoniya v sostave zashchitnogo pokrytiya na elektrokhimicheskoye povedeniye stali 08kp // I.V. Fadeyev, A.N. Rementsov, SH.V. Sadetdinov // *Gruzovik*. – 2016. – № 12. – S. 15-20.

6. Byshov, N.V. Povysheniye protivokorroziy-nnykh svoystv rastvorov sinteticheskikh moyushchikh sredstv dlya moyki detaley [Tekst] / N.V. Byshov, I.V. Fadeyev, G.A. Aleksandrova, SH.V. Sadetdinov // *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. – 2019. – № 45. – S. 20-24.

7. Byshov, N.V. Vliyaniye velichiny zazora na skorost' shchelevoy korrozii avtotraktornoy tekhniki / N.V. Byshov, I.A. Uspenskiy, A.A. Tsybalya i dr. // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo AUK: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye*. – № 2 (58). – S. 328-337.

8. Fadeyev, I.V. Rastvory na osnove amidoborotov dlya polucheniya magnetnykh pokrytiy / I.V. Fadeyev, I.Ye. Illarionov, SH.V. Sadetdinov // *Proyektirovaniye i perspektivnyye tekhnologii v mashinostroyenii i metallurgii: materialy 2-y Respublikanskoй nauch.-tekhn. konf.* – Cheboksary, 2016. – S. 52-57.

9. Burenin, V.V. Konditsionery i sistemy konditsionirovaniya vozdukhа dlya kabin gruzovykh avtomobiley / V.V. Burenin, D.K. Vorob'yev // *Gruzovik*. – 2017. – №5. – S. 29-37.

10. Fadeyev, I.V. Ammiak – ingibitor korrozii chernykh metallov / I.V. Fadeyev, V.V. Belov, I.N. Smolina // *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. – 2016. – № 26. – S. 21-24.

11. Petrov, A.P. Konstruktsionnyye osobennosti ventilyatornykh ustanovok legkovykh avtomobiley / A.P. Petrov, S.N. Sinitsyn, S.N. Bannikov // *Izvestiya MGTU «MAMI»*. – 2016. – №3 (29). – S. 50-57.

12. Byshov, N.V. Ingibitor korrozii dlya rastvorov sinteticheskikh tekhnologicheskikh sredstv / N.V. Byshov, I.V. Fadeyev // *Perspektivy razvitiya mekhanizatsii, elektrifikatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: materialy Vserossiyskoy nauch.-praktich. konferentsii*. – Cheboksary: CHGSKHA, 2019. – S. 411-417.

13. Gorbunova, A.D. Innovatsionnyye podkhody k issledovaniyu vliyaniya raboty ustanovki «klimat-kontrol'» na rashod topliva i vybrosy vrednykh veshchestv avtomobil'nogo transporta / A.D. Gorbunova, I.A. Anisimov, L.N. Burakova, S.A. Klement'yev // *Innovatika i ekspertiza*. – 2019. – Vypusk 2(27). – S. 10-20.

14. Fadeyev, I.V. Ekologicheskii bezvrednyy material dlya zashchity sel'skokhozyaystvennoy tekhniki ot korrozii / I.V. Fadeyev, N.N. Belova, SH.V. Sadetdinov // *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. – 2015. – № 21. – S. 56-59.

15. Fadeyev, I.V. Vliyaniye monoborotov litiya, natriya, kaliya na moyushchiye i protivokorroziy-nnyye svoystva sinteticheskikh moyushchikh sredstv / I.V. Fadeyev, SH.V. Sadetdinov // *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. – 2015. – № 2 (34). – S. 86-90.

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

Батманов Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», bvn.academi-gsxa@yandex.ru

Фадеев Иван Васильевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технических дисциплин, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева», ivan-fadeev-2012@mail.ru

Шогенов Юрий Хасанович, д-р техн. наук, ст. научный сотрудник, академик РАН, ФГБУ «Российская академия наук», начальник сектора механизации, электрификации и автоматизации отдела сельскохозяйственных наук РАН, yh1961@yandex.ru

Смирнов Сергей Николаевич, магистр, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет», smirnof911@yandex.ru

Author Information

Batmanov Vladimir N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, tat.khrapova2016@yandex.ru.

Fadeev Ivan V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Disciplines, Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, ivan-fadeev-2012@mail.ru

Shogenov Yuri H., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanisation, Electrification and Automation Sector of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, yh1961@yandex.ru

Smirnov Sergey N., Master, Chuvash State Agrarian University, smirnof911@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 27.01.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 106-111
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.106-111

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.171:631.3.012
DOI: 10.36508/RSATU.2025.26.38.015

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПОЧВУ**

Илья Юрьевич Богданчиков¹✉, Анна Владимировна Юдина², Сергей Николаевич Борычев³

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

¹ mc62@mail.ru

² anna.yudina.2002@mail.ru

³ university@rgatu.ru

Аннотация

Проблема и цель. Каждый проход машинно-тракторного агрегата (МТА) по полю оказывает негативное воздействие на почву, уплотняя её. В переуплотнённой почве нарушается её внутренняя структура, увеличивается объёмная масса, снижается биологическая активность, нарушается воздушный и водный режимы питания. Всё это приводит к снижению урожайности возделываемых растений. Цель исследования – провести оценку воздействия движителей машинно-тракторных агрегатов на почву при проведении весенне посевных работ в УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ.

Методология. Исследования проводились на поле УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области в мае 2024 г. при посеве ярового ячменя сорта «Владимир». Твердость почвы измерялась при помощи пенетрометра FIELD SCOUT SC 900 с конусным наконечником 3/4 дюйма на глубину от 0 до 45 см с шагом измерения 2,5 см. Все полученные значения сводили в таблицу, обработку производили в программе Microsoft Excel. Оценка эффективности использования МТА осуществлялась по максимальной производительности, при минимальном расходе топлива и минимальном негативном воздействии на почву (давление движителей на почву).

Результаты. После первого воздействия уплотнение почвы на глубине 5 см увеличилось на 18,8 %, на глубине 10 см – на 31,3 %, на глубине 15 см – на 0,9 %. После второго воздействия уплотнение почвы увеличилось на 40,6 % на глубине 5 см, на 215,7 % на глубине 10 см, на 17,8 % на глубине 15 см. После третьего воздействия (проход посевного агрегата) уплотнение почвы увеличилось на 100 % на глубине 5 см, на 215,7 % на глубине 10 см, на 78,3 % на глубине 15 см и на 8,5 % на глубине 20 см. Интересно, что на глубине 20 см после первого и второго дискования наблюдалось уменьшение уплотнения на 9,7 % и на 29,3 % соответственно.

Заключение. В результате проведённых исследований было установлено, что каждый проход МТА по полю оказывает негативное воздействие на почву, уплотняя её. Поэтому необходимо стремиться к сокращению количества выездов техники на поле, используя высокопроизводительные комбинированные агрегаты, а также цифровые технологии для рациональной организации движения агрегатов. При сравнении двух посевных МТА было установлено, что в условиях исследуемого поля для посева было выявлено, что: 1) колёса трактора МТЗ-1221 оказывает меньшее давление на почву, в среднем на 206,7 кПа (на глубине 0-15 см); 2) расход топлива у трактора МТЗ-1221 меньше на 50,4 % (на 2,1 кг/га) по сравнению с АТМ-3180М; 3) производительность МТА в составе с трактором АТМ-3180М выше на 10 % (0,59 га/ч), но достигается повышенным расходом топлива на 198 %. Поэтому в условиях УНИЦ «Агротехнопарк» рекомендуется использовать МТА: МТЗ-1221+СЗ-5,4.

Ключевые слова: почва, уплотнение, движитель, машинно-тракторный агрегат

Для цитирования: Богданчиков И.Ю., Юдина А.В., Борычев С.Н. Результаты исследования влияния движителей машинно-тракторных агрегатов на почву // Вестник Рязанского государственного



Original article

RESULTS OF THE STUDY OF THE INFLUENCE OF PROPULSORS OF MACHINE AND TRACTOR UNITS ON THE SOIL

Ilya Yu. Bogdanchikov¹✉, Anna V. Yudina², Sergey N. Borychev³

^{1,2,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

¹ mc62@mail.ru

² anna.yudina.2002@mail.ru

³ university@rgatu.ru

Abstract

Problem and purpose. Each passage of the machine-tractor unit (MTA) through the field has a negative effect on the soil, compacting it. In overcompacted soil, its internal structure is disturbed, bulk mass increases, biological activity decreases, air and water nutrition regimes are disrupted. All this leads to a decrease in the yield of cultivated plants. The purpose of the study is to assess the impact of movers of machine and tractor units on the soil during spring sowing at the Agrotechnopark UNIC of the FSBEI HE RGATU.

Methodology. The research was carried out on the field of the Agrotechnopark UNITS of the Ryazan region of the Ryazan region in May 2024 when sowing spring barley of the Vladimir variety. Soil hardness was measured using a FIELD SCOUT SC 900 penetrometer with a 3/4 inch cone tip to a depth of 0 to 45 cm with a measurement step of 2.5 cm. All obtained values were tabulated, processing was carried out in Microsoft Excel. MTA efficiency was assessed by maximum performance, with minimal fuel consumption and minimal negative impact on the soil (propulsor pressure on the soil).

Results. After the first impact, soil compaction at a depth of 5 cm increased by 18.8%, at a depth of 10 cm by 31.3%, at a depth of 15 cm by 0.9%. After the second exposure, soil compaction increased by 40.6% at 5 cm depth, 215.7% at 10 cm depth, by 17.8% at 15 cm depth. After the third exposure (sowing unit passage) soil compaction increased by 100% at a depth of 5 cm, 215.7% at a depth of 10 cm, by 78.3% at a depth of 15 cm and by 8.5% at a depth of 20 cm. Interestingly, at a depth of 20 cm after the first and second disking, a decrease in compaction was observed by 9.7% and 29.3%, respectively.

Conclusion. As a result of the studies, it was found that each passage of the MTA through the field has a negative effect on the soil, compacting it. Therefore, it is necessary to strive to reduce the number of trips of equipment on the field using high-performance combined units, as well as digital technologies for rational organization of the movement of units. When comparing two inoculation MTAs, it was found that under the conditions of the study field, for inoculation, it was found that: 1) tractor wheels MTZ-1221 exerts less pressure on the soil, on average by 206.7 kPa (at a depth of 0-15 cm); 2) fuel consumption of the tractor MTZ-1221 50.4% less (by 2.1 kg/ha) compared to ATM-3180M; 3) MTA performance in the composition with a tractor ATM-3180M 10% higher (0.59 ha/h), but is achieved by an increase in fuel consumption by 198%. Therefore, in the conditions of UNITS "Agrotechnopark" it is recommended to use MTA: MTZ-1221 + SZ-5.4.

Key words: soil, compaction, propulsor, machine-tractor unit

For citation: Bogdanchikov I.Y., Yudina A.V., Borychev S.N. Results of the study of the influence of propulsors of machine and tractor units on the soil // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P.106-111 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.26.38.015>

Введение

Для реализации задач Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года предполагается использование ресурсосберегающих технологий и высокопроизводительной техники, что приводит к увеличению мощности задействованных тракторов, а, следовательно, и их веса. Известно, что с каждым проходом по полю агрегата его движители оказывают негативное воздействие на почву, уплотняя её [1, 2, 3]. В переуплотнённой почве нарушается её внутренняя структура, увеличивается объёмная масса, снижается биологическая активность, нарушается воздушный и водный режимы питания. Всё это при-

водит к снижению урожайности возделываемых растений. Целью исследования является оценка воздействия движителей машинно-тракторных агрегатов на почву при проведении весенне-посевных работ в УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ.

Методика

Исследования проводились на поле учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области в мае 2024 г. при посеве ярового ячменя сорта «Владимир». Почва на исследуемом поле серая лесная тяжело-суглинистая, влажностью 20 % и плотностью 1,1 г/см³ в слое 0-10 см. Технологические операции (дискование в два следа и посев) и состав ма-



шинно-тракторных агрегатов (МТА) представлены в таблице 1. Опытное поле и схема движения МТА показаны на рисунке 1

Твердость почвы измерялась при помощи пенетрометра FIELD SCOUT SC 900 с конусным наконечником 3/4 дюйма на глубину от 0 до 45 см с шагом измерения 2,5 см (согласно инструкции по

эксплуатации прибора). На каждом рабочем ходе МТА проводили по 20 замеров до и после проезда агрегата (позиции 1 и 4 на рисунке 2) и по одному замеру на каждом рабочем ходе МТА после проезда переднего моста трактора и заднего (позиции 2 и 3 на рисунке 2)

Таблица 1 – Исследуемые технологические операции и машинно-тракторные агрегаты

№ с/х операции	С/х операция	Машинно-тракторный агрегат	Масса, кг
1	Дискование	К-742М-Ст-1+БДП-6х4	16600+7541
2	Дискование	К-742М-Ст-1+БДП-6х4	16600+7541
3	Сев	АТМ-3180М+СЗ-5,4	7700+3520
		МТЗ-1221+СЗ-5,4	6100+3520



Рис. 1 – Схема движения машинно-тракторных агрегатов на исследуемом поле (на основе снимков с онлайн-платформы OneSoil)

Fig. 1 – Diagram of the movement of machine and tractor units on the field under study (based on images from the OneSoil online platform)

Все полученные значения сводили в таблицу, обработку производили в программе Microsoft Excel.

Оценка эффективности использования МТА осуществлялась по максимальной производительности, при минимальном расходе топлива и минимальном негативном воздействии на почву (давлении движителей на почву):

$$\begin{cases} W_{\text{см}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{\text{см}} \cdot \tau \rightarrow \max \\ g_{\text{га}} = \frac{G_{\text{тн}} \cdot K_T}{W_{\text{ч}}} \rightarrow \min \\ P = \frac{m \cdot g}{S} \cdot k_2 \rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

где $W_{\text{см}}$ – сменная производительность МТА, га/см;

B_p – рабочая ширина захвата, м;

V_p – рабочая скорость, м/с;

$T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч;

τ – коэффициент использования времени смены;

$g_{\text{га}}$ – погектарный расход топлива, кг/га;

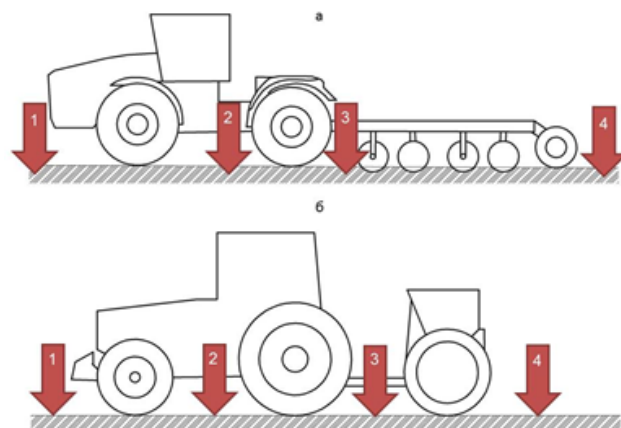


Рис. 2 – Точки (1-4) измерения плотности почвы после прохода машинно-тракторного агрегата: а – К-742М-Ст-1+БДП-6х4; б – АТМ-3180М+СЗ-5,4 / МТЗ-1221+СЗ-5,4

Fig. 2 – Points (1-4) for measuring the soil density after the passage of the machine and tractor unit: a - K-742M-St-1 + BDP-6x4; b - ATM-3180M + SZ-5,4/ MTZ-1221 + SZ-5,4

$G_{\text{тн}}$ – часовой расход топлива при номинальной эффективной мощности двигателя, кг/ч;

K_T – поправочный коэффициент, учитывающий неполную загрузку двигателя при холостых поворотах, переездах и во время остановок трактора с работающим двигателем;

$W_{\text{ч}}$ – часовая производительность, га/ч;

P – давление МТА на почву, кПа;

m – масса МТА, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

S – площадь контакта, м²;

k_2 – коэффициент продольной неравномерности давления по площади контакта шины, согласно [4] $k_2=1,5$.

$$S = (B_{\text{ш}} \cdot \sqrt{f_i \cdot (D_i - f_i + \frac{f_i \cdot H_{\text{ш}}}{2})} \cdot k_1, \quad (2)$$

где $B_{\text{ш}}$ – ширина профиля шины, м;

f_i – нормальный прогиб, м;

D_i – свободный диаметр, м;

$H_{\text{ш}}$ – высота профиля шины, м;

k_1 – коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса по ГОСТ Р 58656-2019.



Результаты и их обсуждение

Результаты измерения уплотнения почвы по всем исследуемым технологическим операциям

(табл. 1), представлены в виде диаграммы на рисунке 3.

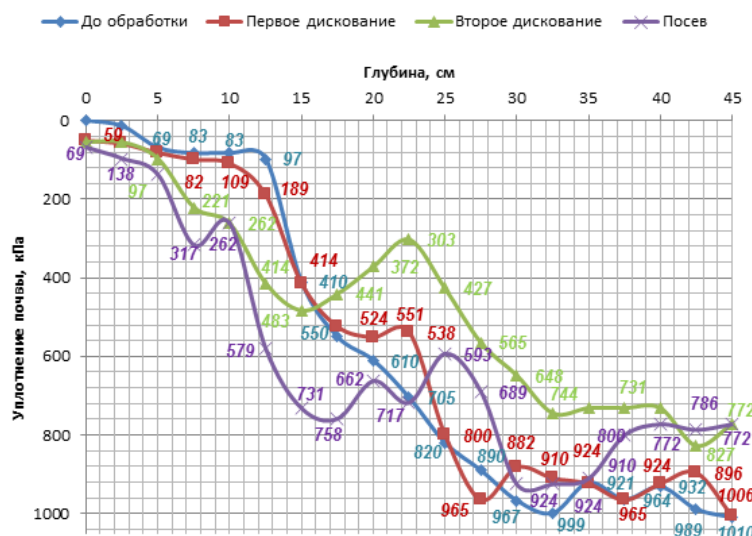


Рис. 3 – Результаты измерения уплотнения почвы в зависимости от глубины измерения при различных вариантах воздействия

Fig. 3 – Results of soil compaction measurement depending on measurement depth under different impact options

Как видно из рисунка 3, с каждым проходом МТА по полю увеличивается уплотнение почвы, особенно на глубине 0-20 см; данный факт также отражается в работах [1-6]. После первого воздействия (первое дискование, рис. 1) уплотнение почвы на глубине 5 см увеличилось на 18,8 %, на глубине 10 см на 31,3 %, на глубине 15 см на 0,9 %. После второго воздействия (второе дискование, рис.1) уплотнение почвы увеличилось на 40,6 % на глубине 5 см, 215,7 % на глубине 10 см, на 17,8 % на глубине 15 см. После третьего воздействия (проход посевного агрегата) уплотнение почвы увеличилось на 100 % на глубине 5 см, на 215,7 % на глубине 10 см, на 78,3 % на глубине

15 см и на 8,5 % на глубине 20 см. Интересно, что на глубине 20 см после первого и второго дискования наблюдалось уменьшение уплотнения на 9,7 % и на 29,3 % соответственно.

Учитывая, что для посева использовались два МТА, отличающихся задействованным трактором (табл.1, п.3), появляется практический интерес в определении наиболее рационального агрегата по условию (1). Результаты сравнительных показателей посевных агрегатов МТЗ-1221+СЗ-5,4 и АТМ-3180+СЗ-5,4 сведены в таблицу 2, а на рисунке 4 представлены результаты измерения уплотнения почвы после прохода данных агрегатов.

Таблица 2 – Сравнительные показатели посевных агрегатов МТЗ-1221+СЗ-5,4 и АТМ-3180+СЗ-5,4

Показатель	МТЗ-1221	АТМ-3180М
Используемые шины		
передние колеса	420/70 R24	420/85 R30
задние колеса	520/70 R38	520/85 R38
Нормальный прогиб передней/задней шины, мм	63/93,5	25/110,5
Реакция опорной поверхности, кг		
под передней осью	2135	2695
под задней осью	3965	5005
Контурная площадь пятна контакта, м ²		
переднее колесо	0,137	0,141
заднее колесо	0,244	0,278
Максимальное давление на почву шины, кПа		
переднее колесо	114,77	140,48
заднее колесо	119,63	132,54
Рабочая скорость, км/ч	10,9	12
Производительность, га/ч	5,89	6,48
Погектарный расход топлива, кг/га	2,14	4,24



Из таблицы 2 видим, что посевной МТА на базе трактора МТЗ-1221 развивает рабочую скорость на 1,1 км/ч меньше, чем МТА на базе трактора АТМ-3180М, что приводит к снижению производительности на 9,1 %. Это можно связать с разными тяговыми классами тракторов, вторым и третьим соответственно. АТМ-3180М мощнее на 36,77 кВт и на 1,6 тонны тяжелее МТЗ-1221, что отражает-

ся и на повышенном расходе топлива (на 49,6 % больше чем у МТЗ). Интересно, что больший вес трактора АТМ-3180М приходится на передний мост, тогда как у МТЗ-1221 – на задний. На рисунке 4 представлены результаты измерения уплотнения почвы после прохода посевных агрегатов на базе трактора МТЗ-1221 и АТМ-3180М соответственно.

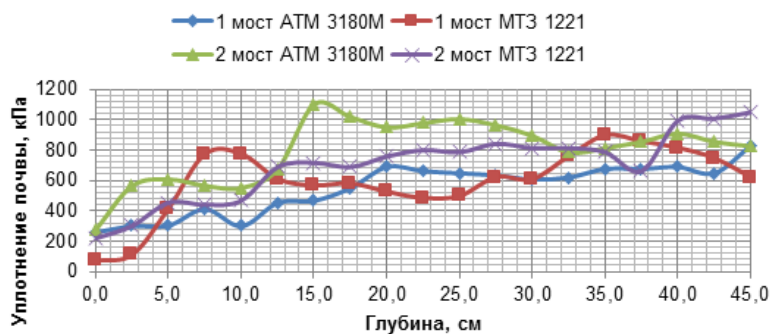


Рис. 4 – Результаты измерения уплотнения почвы в зависимости от глубины посевными агрегатами в составе с трактором МТЗ-1221 и АТМ-3180М соответственно.

Fig. 4 – Results of soil compaction measurement depending on depth by sowing units in a compound with tractor МТЗ-1221 and АТМ-3180М respectively

Как видно из рисунка 4, на глубине 0-15 см наибольшее воздействие на почву оказывает МТА на базе трактора АТМ-3180М, в среднем на 33,4 %; на глубине 5 см больше на 152 кПа, на глубине 10 см на 82 кПа, на глубине 15 см на 386 кПа. На обоих вариантах перед началом сева уплотнение почвы превышало допустимый уровень в 75 кПа [7], на глубине 5 см на 232-532 кПа, на глубине 10 см на 228-697 кПа, что отразится на снижении урожайности ярового ячменя.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что каждый проход МТА по полю оказывает негативное воздействие на почву, уплотняя её. Поэтому необходимо стремиться к сокращению количества выездов техники на поле, используя высокопроизводительные комбинированные агрегаты, а также цифровые технологии для рациональной организации движения агрегатов. При сравнении двух посевных МТА в условиях исследуемого поля для посева было установлено:

1) колёса трактора МТЗ-1221 оказывает меньшее давление на почву, в среднем на 206,7 кПа (на глубине 0-15 см);

2) расход топлива у трактора МТЗ-1221 меньше на 50,4 % (на 2,1 кг/га) по сравнению с АТМ-3180М. Так, при выполнении сева на исследуемом поле площадью 63,48 га при использовании МТА в составе с трактором МТЗ-1221 потребуется на 133,3 кг топлива меньше чем МТА в составе с АТМ-3180М. При оптовой закупке летнего дизельного топлива ДТ-Л-К5 (плотность 860 кг/м³) по 50 руб/л разница составит 7750 руб., а стоимость работ будет дешевле на 122,43 руб/га;

3) производительность МТА в составе с трактором АТМ-3180М выше на 10 % (0,59 га/ч), но достигается повышенным расходом топлива на 198 %.

Поэтому в условиях УНИЦ «Агротехнопарк» рекомендуется использовать МТА: МТЗ-1221+СЗ-5,4.

Список источников

1. Бачурин, А. Н. Повышение тягово-сцепных свойств колесных тракторов при использовании их в составе широкозахватных агрегатов : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бачурин Алексей Николаевич. – Рязань, 2006. – 164 с.
2. Исследование взаимосвязи «Оптимальной плотности» почвы с урожайностью зерновых культур / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, А. А. Конышев, И. И. Гарифуллин // Агрофизика. – 2017. – № 4. – С. 16-24.
3. Джаббаров, Н. И. Анализ способов снижения уплотнения почвы при работе сельскохозяйственных агрегатов / Н. И. Джаббаров, И. И. Жуйков // Вестник Хорьковского университета. – 2023. – № 4(28). – С. 348-357.
4. Ревенко, В. Ю. Методика расчета давления на почву колесных тракторов / В. Ю. Ревенко, А. Н. Назаров, В. И. Скорляков // Аграрная наука Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 5. – С. 868-876.
5. Джаббаров, Н. И. Методика оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду / Н. И. Джаббаров, А. М. Захаров, И. И. Жуйков // Агро-ЭкоИнженерия. – 2023. – № 2(115). – С. 82-97.
6. Поливаев, О. И. Снижение уплотнения почвы движителями мобильных энергетических средств / О. И. Поливаев, В. С. Воищев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1(36). – С. 57-59.
7. Хафизов, Р. Н. Оптимизация основных параметров трактора и агрегата для посева зерновых культур с учетом их влияния на урожай : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хафизов Рамиль Наильевич, 2017. – 272 с.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Bachurin, A. N. Povy'shenie tyagovo-scepnny'x svoystv kolesny'x traktorov pri ispol'zovanii ix v sostave shirokozaxvatny'x agregatov : special'nost' 05.20.01 "Texnologii i sredstva mexanizacii sel'skogo khozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk / Bachurin Aleksej Nikolaevich. – Ryazan', 2006. – 164 s.
2. Issledovanie vzaimosvyazi «Optimal'noj plotnosti» pochvy s urozhajnost'yu zernovy'x kul'tur / N. V. Perfil'ev, O. A. V'yushina, A. A. Konishhev, I. I. Garifullin // Agrofizika. – 2017. – № 4. – S. 16-24.
3. Dzhaborov, N. I. Analiz sposobov snizheniya uplotneniya pochvy pri rabote sel'skoxozyajstvenny'x agregatov / N. I. Dzhaborov, I. I. Zhujkov // Vestnik Xorogskogo universiteta. – 2023. – № 4(28). – S. 348-357.
4. Revenko, V. Yu. Metodika rascheta davleniya na pochvu kolesny'x traktorov / V. Yu. Revenko, A. N. Nazarov, V. I. Skorlyakov // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2023. – T. 24, № 5. – S. 868-876.
5. Dzhaborov, N. I. Metodika ocenki i prognozirovaniya negativnogo vliyaniya mashinno-traktorny'x agregatov na okruzhayushchuyu sredu / N. I. Dzhaborov, A. M. Zaxarov, I. I. Zhujkov // AgroE'kolnzheneriya. – 2023. – № 2(115). – S. 82-97.
6. Polivaev, O. I. Snizhenie uplotneniya pochvy dvizhatelyami mobil'ny'x e'nergeticheskix sredstv / O. I. Polivaev, V. S. Voishhev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 1(36). – S. 57-59.
7. Xafizov, R. N. Optimizaciya osnovny'x parametrov traktora i agregata dlya poseva zernovy'x kul'tur s uchetom ix vliyaniya na urozhaj : special'nost' 05.20.01 "Texnologii i sredstva mexanizacii sel'skogo khozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk / Xafizov Ramil' Nailovich, 2017. – 272 s.

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Богданчиков Илья Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», mc62@mail.ru

Юдина Анна Владимировна, магистрант 1 курса по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», anna.yudina.2002@mail.ru

Борычев Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства инженерных сооружений и механики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Author Information

Bogdanchikov Ilya Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor «Operation of the machine and tractor park», Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, mc62@mail.ru

Yudina Anna V., 1st year student of the magistracy in the direction of training 35.04.06 "Agroengineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, anna.yudina.2002@mail.ru

Borychev Sergey N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Department of Civil Engineering and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Статья поступила в редакцию 13.01.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 13.01.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.372

DOI: 10.36508/RSATU.2025.93.49.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ОБОРУДОВАННЫХ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ФОРКАМЕРОЙ**Никита Сергеевич Жбанов¹✉, Никита Евгеньевич Попков², Алексей Дмитриевич Чернышев³, Дмитрий Владимирович Колошеин⁴, Игорь Александрович Ильчук⁵**^{1,2,3,5} ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», г. Рязань, Россия⁴ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия¹ zbanovnikita25@gmail.com² nikita.popkov@mail.ru³ aaa777aa62@yandex.ru⁴ dkoloshein@mail.ru⁵ il4uk.goscha@yandex.ru**Аннотация**

Проблема и цель. Применение современных технологий позволяет качественно улучшить процессы во многих производственных отраслях, в том числе и в агропромышленном комплексе. Модернизация двигателей является наиболее перспективным вектором по совершенствованию наземных транспортно-технологических средств. Особое внимание стоит уделить высокопроизводительным двигателям, способным обеспечить работу оборудования в разных отраслях производства. Повышение мощности является первостепенной задачей, стоящей перед их разработчиками. Стоит также отметить, что неизменно актуальным остается вопрос снижения расхода топлива. В настоящий момент проведены исследования работы форкамер современных двигателей, особое внимание при этом уделялось процессу сгорания топливно-воздушной смеси. Было установлено, что имеет место плохое воспламенение смеси, а также ее перерасход на высоких мощностях работы двигателя. Кроме того, стоит отметить выброс вместе с выхлопными газами 20 % смеси ввиду ее неполного сгорания, обусловленного плохим воспламенением топливно-воздушной смеси. Решением данных проблем может быть модернизация форкамерного зажигания.

Методология. Для проектирования новой форкамеры были проведены исследования по уточнению скоростных показателей распространения воспламененной топливной смеси, а также динамики распределения температурного фронта при использовании современных форкамер. Не менее значимым следует считать проведенный для исследуемых форкамер газодинамический расчет. Установлено, что современные двигатели имеют высокие значения воспламенения топливно-воздушной смеси и значительно превосходят по данному параметру предшествующие аналоги. Модернизация форкамеры, а именно изменение ее геометрической формы, способна качественно улучшить воспламенение топливной смеси, увеличить мощность, повысить полноту сжигания топливной смеси, уменьшить выбросы в атмосферу не отработавших газов. Основным отличием представленной в статье форкамеры от современных аналогов является наличие шаровой полости горения, способствующей наилучшему смесеобразованию. Следует отметить, что параметры разгонной полости горения, шаровой полости горения, а также распылителя корректировались, исходя из проведенных расчетов. Для смоделированной форкамеры был проведен расчет распространения давления по периметру рабочей камеры цилиндра в момент впрыска топливно-воздушной смеси. Как и у исследуемых ранее аналогов, было смоделировано распределение температурного фронта, а также определена скорость распределения газа.

Результаты. Было установлено, что оптимальным для разработанной форкамеры является давление 30 бар, которое характеризуется четкими, упорядоченными, векторными траекториями, способствующими наилучшему смесеобразованию. Анализируя приведенные в статье графики, можно отметить первоначальную скорость, которая для всех значений давления различна, она изменялась от 2,100 до 2,700 м/с; наибольшая скорость зафиксирована при давлении 20 бар. При этом на выходе из сопел скорость варьировала от 1400 до 1700 м/с. В результате проведенных расчетов было установлено, что разработанная форкамера позволяет наиболее полно организовать рабочий процесс воспламенения топливно-воздушной смеси за счет наиболее полного рассредото-



чения давления по всему периметру рабочей камеры, а также, благодаря подобранным углам подачи форкамерного газа, позволит добиться наилучшего смесеобразования и перемешивания воздуха с топливом. Кроме того, в результате полного сгорания поступившей в рабочую камеру топливно-воздушной смеси сократится объем выбросов в атмосферу не отработавших газов.

Ключевые слова: сельскохозяйственное машиностроение, двигатель, форкамерное зажигание

Для цитирования: Жбанов Н.С., Попков Н.Е., Чернышев А.Д., Колошеин Д.В., Ильчук И.А. Исследование процесса воспламенения в двигателях внутреннего сгорания, оборудованных модернизированной форкамерой // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.1, С. 112-119 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.93.49.016](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.93.49.016)

Original article

INVESTIGATION OF THE IGNITION PROCESS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES EQUIPPED WITH AN UPGRADED PRE-CHAMBER

Nikita S. Zhanov¹✉, **Nikita E. Popkov**², **Alexey D. Chernyshev**³, **Dmitry V. Koloshein**⁴, **Igor A. Ilchuk**⁵

^{1,2,3,5} Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia.

⁴ Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ zbanovnikita25@gmail.com

² nikita.popkov@mail.ru

³ aaa777aa62@yandex.ru

⁴ dkoloshein@mail.ru

⁵ il4uk.goscha@yandex.ru

Abstract

Problem and purpose. The use of modern technologies makes it possible to qualitatively improve processes in many production sectors, including in the agro-industrial complex. Modernization of engines is the most promising vector for improving ground transportation and technological facilities. Special attention should be paid to high-performance engines capable of ensuring the operation of equipment in various industries. Increasing power is the primary task facing modern scientists. It is also worth noting that the issue of reducing fuel consumption remains always relevant. At the moment, studies have been conducted on the operation of the pre-chambers of modern engines, with special attention being paid to the combustion process of the fuel-air mixture. It was found that there is poor ignition of the mixture, as well as its overexpenditure at high engine power levels. In addition, it is worth noting that 20% of the mixture is released along with exhaust gases due to its incomplete combustion due to poor ignition of the fuel-air mixture. The solution to these problems may be to upgrade the pre-chamber ignition.

Methodology. To design the new pre-chamber, studies were conducted to refine the velocity parameters of the spread of the ignited fuel mixture, as well as the dynamics of the temperature front distribution when using modern pre-chambers. The gas dynamic calculation carried out for the studied pre-chambers should be considered no less significant. It has been established that modern engines have high ignition values of the fuel-air mixture and significantly exceed their previous counterparts in this parameter. Modernization of the pre-chamber, namely, changing its geometric shape, can qualitatively improve the ignition of the fuel mixture, increase power, increase the completeness of combustion of the fuel mixture, and reduce emissions of non-exhaust gases into the atmosphere. The main difference between the presented pre-chamber and modern analogues is the presence of a spherical combustion cavity, which contributes to the best mixing. Gorenje It should be noted that the parameters of the accelerating combustion cavity, the spherical combustion cavity, as well as the atomizer were adjusted based on the calculations performed. Gorenje Gorenje. For the simulated pre-chamber, the pressure distribution around the perimeter of the cylinder's working chamber was calculated at the time of injection of the fuel-air mixture. Just like the analogues studied earlier, the distribution of the temperature front was modeled, and the gas distribution rate was determined.

Results. It was found that the optimal pressure for the developed pre-chamber is 30 bar, which is characterized by clear, ordered, vector trajectories that promote the best mixing. Analyzing the graphs shown in Figure 6, it is worth noting the initial velocity, which is different for all pressure values, it ranged from 2,100 to 2,700 m/s, the highest speed was recorded at a pressure of 20 bar. At the same time, the velocity at the outlet of the nozzles varied from 1400 to 1700 m/s. As a result of the calculations, it was found that the developed pre-chamber makes it possible to most fully organize the working process of igniting the fuel-air mixture due to the most complete dispersion of pressure around the entire perimeter of the working chamber, and also, thanks to the selected angles of the pre-chamber gas supply, it will achieve the best mixing and mixing of air with fuel. In addition, as a result of the complete combustion of the fuel-air mixture entering the working chamber, the volume of emissions of non-exhaust gases into the atmosphere will be reduced.

Key words: agricultural machinery, engine, pre-chamber ignition

For citation: Zhbanov N.S., Popkov N.E., Chernyshev A.D., Koloshein D.V., Ilchuk I.A. Investigation of the ignition process in internal combustion engines equipped with an upgraded pre-chamber // Herald of Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025. Vol.17, No.1, P.112-119 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.93.49.016>

Введение

Применение современных технологий позволяет качественно улучшить процессы производства и транспортировки в сельском хозяйстве. Наиболее перспективным направлением совершенствования отрасли является модернизация двигателей сельскохозяйственной техники [1,2]. Повышение мощности является первостепенной задачей, стоящей перед современными учеными. Стоит также отметить, что неизменно актуальным остается вопрос снижения расхода топлива.

В настоящий момент проведены исследования работы форкамер современных двигателей, особое внимание при этом уделялось процессу сгорания воздушной смеси. Было установлено, что имеет место плохое воспламенение смеси, а также ее перерасход на высоких мощностях работы двигателя. Кроме того, стоит отметить выброс вместе с выхлопными газами 20 % смеси ввиду ее неполного сгорания, обусловленного плохим воспламенением. Решением данных проблем может быть модернизация форкамерного зажигания [3,4,5].

Для проектирования новой форкамеры были проведены исследования по уточнению скоростных показателей распространения воспламененного газа, а также динамики распределения температурного фронта при использовании современных форкамер. Не менее значимым следует считать проведенный для исследуемых форкамер газодинамический расчет. Установлено, что современные двигатели имеют высокие значения воспламенения газовой смеси и значительно превосходят по данному параметру предшествующие аналоги [6,7].

Модернизация форкамеры, а именно изменение ее геометрической формы, способна качественно улучшить воспламенение газовой смеси, увеличить мощность, повысить полноту сжигания газовой смеси, уменьшить выбросы в атмосферу неотребовавших газов.

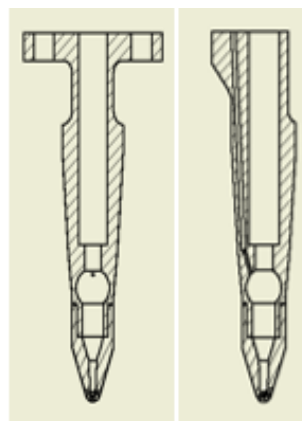
Материалы и методы исследования

Была спроектирована форкамера для двигателей 8ГМГ и Д49, в которой, в результате многократных корректировок, основанных на расчетах, определены оптимальные параметры основных элементов форкамеры. К ним относились такие параметры как: диаметры отверстий распылителя, газовый подвод, угол и длина сопла, диаметр и объем шара. Стоит отметить возможность применения разработанной форкамеры в двигателях сельскохозяйственных машин при условии адаптации форкамеры, а также корректировки основных ее параметров под конкретный двигатель [1,3,5].

Разработанная форкамера состоит из трех основных элементов: распылителя, выполненного из стали 30Х3ВА, корпуса, изготовленного из стали 40Х и медной прокладки. Резьбовое соединение обеспечивает надежное крепление распылителя к корпусу, медная прокладка устанавливается меж-

ду данными элементами.

Основным отличием представленной форкамеры от современных аналогов является наличие шаровой полости горения, способствующей наилучшему смесеобразованию. Следует отметить, что параметры разгонной полости горения, шаровой полости горения, а также распылителя корректировались, исходя из проведенных расчетов. Варьирование параметров производилось до получения наилучших показателей функционирования разработанной форкамеры.



а – продольный разрез форкамеры, вид А;
б – продольный разрез форкамеры, вид Б
Рис.1 – Общий вид модернизированной форкамеры

Fig. 1 – General view of the upgraded pre-chamber

Канал форсунки имеет некоторый наклон, исходя из этого, для обеспечения наилучшего процесса горения сопловые отверстия для подачи газовой смеси спланированы под углом для наилучшего распределения температурного фронта и охвата наибольшей площади рабочей камеры [8].

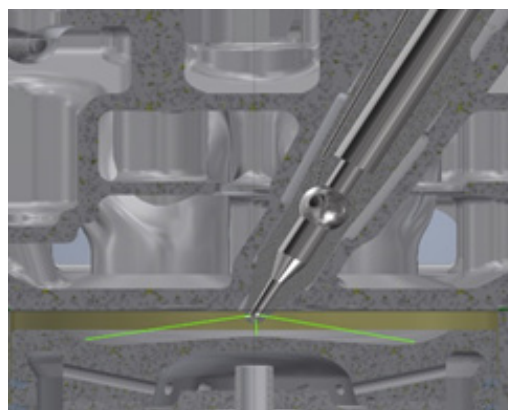


Рис.2 – Смоделированный двигатель-генератор, оборудованный модернизированной форкамерой

Fig 2 – A simulated generator engine equipped with an upgraded pre-chamber



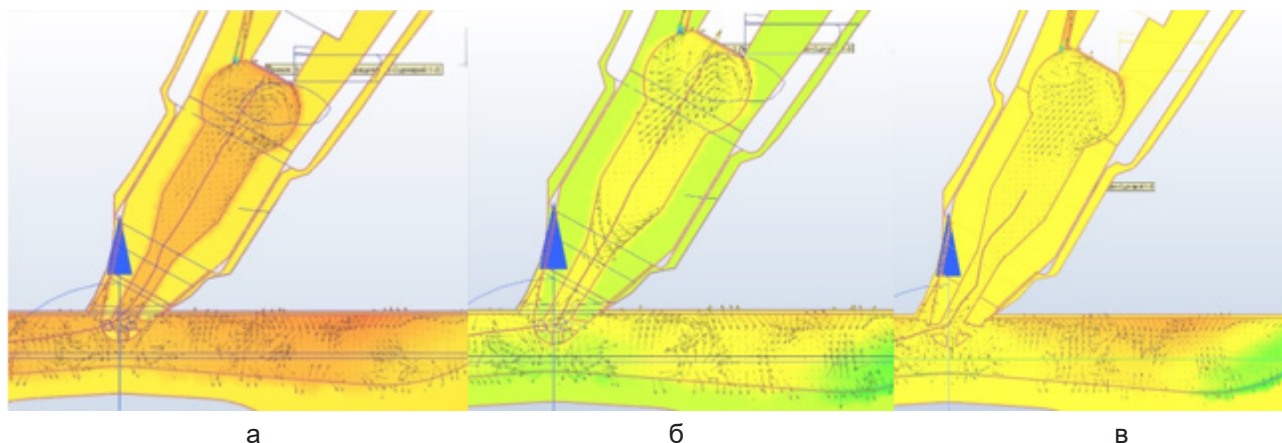
За счет внутренней геометрии разработанной форкамеры воспламенение, а также улучшение процесса смесеобразования и непосредственного сгорания газовой смеси происходит наилучшим образом [9].

Для спроектированной форкамеры, были проведены расчеты по уточнению скоростных показателей распространения воспламененного газа, а также динамики распределения температурного фронта. Кроме того, был проведен газодинамический расчет при различных значениях давления [10].

Основными входными параметрами для расчета были: доля концентрации газа от основной доли, подаваемая в форкамеру, которая составляла 0,01 %; объем форкамеры в долях от объема камеры сжатия (изменяется в зависимости от форкамеры); давление воспламенения топливно-воздушной смеси (от 10 до 50 бар); температура воспламенения 2000° С; давление поступившего свежего воздуха в конце движения поршня к ВМТ, равное 18 бар [3].

Результаты исследования

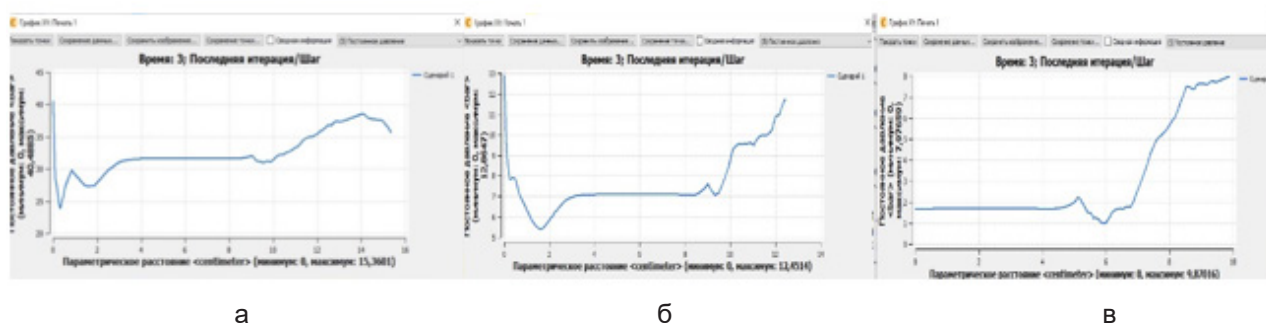
На рисунке 3 представлено смоделированное в программе Autodesk Inventor CFD распределение давления. Кроме того на рисунках изображены векторные траектории процесса воспламенения. Ниже, на рисунке 4 представлены поясняющие графики, характеризующие процесс.



а – давление 50 бар; б – давление 30 бар; в – давление 20 бар
Рис.3 – Газодинамический расчет модернизированной форкамеры
Fig. 3 – Gas dynamic calculation of the upgraded pre-chamber

Было установлено, что оптимальным для разработанной форкамеры является давление 30 бар, которое характеризуется четкими, упорядоченными, векторными траекториями, способствующими наилучшему смесеобразованию. Следует

отметить, что КПД форкамеры при других показателях давления также является удовлетворительным. Исследуя вопрос распределения по рабочей камере давления, отметили ее равномерное распределение по всему объему цилиндра.



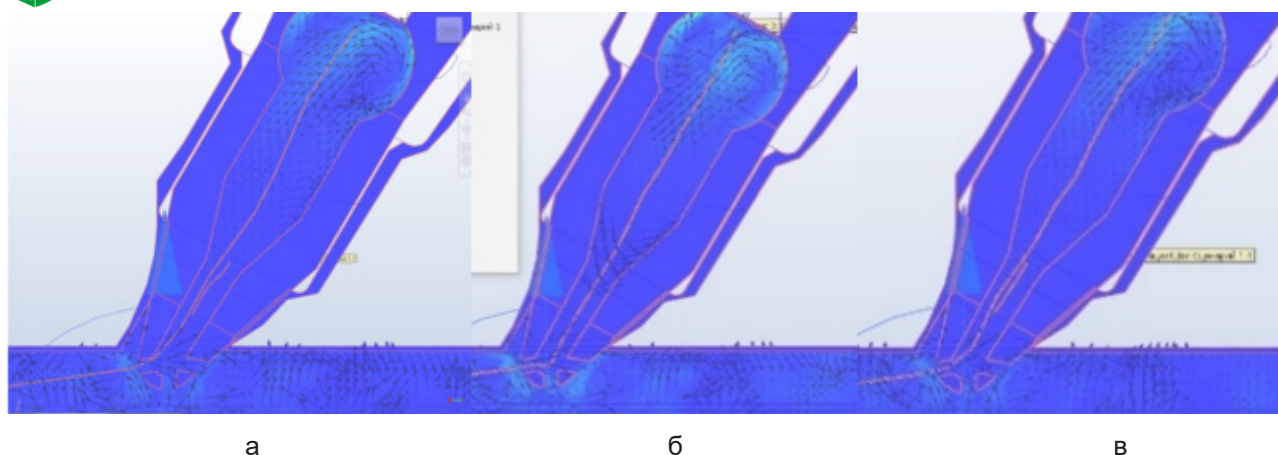
а – давление 50 бар; б – давление 30 бар; в – давление 20 бар
Рис. 4 – Графики распределения давления в модернизированной форкамере
Fig. 4 – Graphs of pressure distribution of the upgraded pre-chamber

Кроме того, следует отметить, что полученные в результате моделирования векторные траектории свидетельствуют о наилучшем воспламенении топливно-воздушной смеси в разработанной форкамере. Данного эффекта удалось добиться за счет вихревого движения потоков воспламенения.

Произведенный далее расчет позволил уточнить скоростные показатели распространения воспламененного газа [10, 11]. На рисунке 5 представлена смоделированная скорость распространения

газа с поступлением его в рабочую камеру. Расчет производился для разных показателей давления.

Можно отметить сходность изображений, представленных на рисунке 5, что свидетельствует о незначительном изменении скоростных показателей распространения газа в разработанной форкамере при разных значениях давления, что, в свою очередь, обеспечивает сохранение наилучших параметров воспламенения.



а – давление 50 бар; б – давление 30 бар; в – давление 20 бар

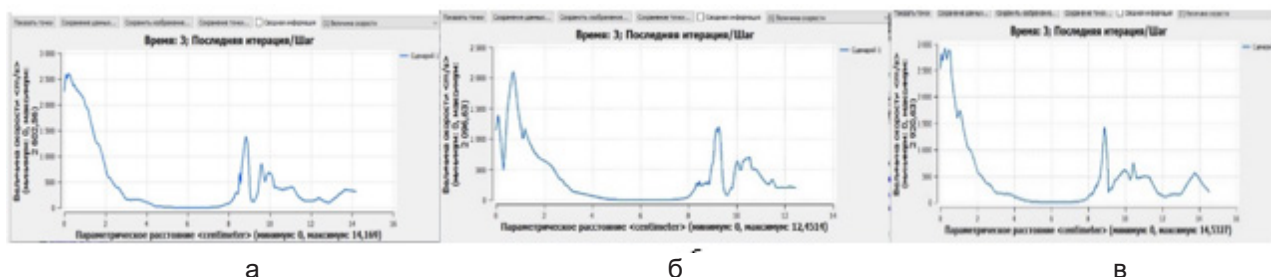
Рис. 5 – Расчет скорости распространения воспламененного газа в модернизированной форкамере
Fig.5 – Calculation of the velocity of propagation of the ignited gas in the upgraded pre-chamber

Поясняющие графики, характеризующие процесс, представлены на рисунке 6. Можно видеть, что графики обладают высокой степенью подобию; наиболее ярко выраженным сходством является характерное для всех графиков «замедление потока», возникшего из-за увеличения плотности газа, а также завихрений, спровоцированных геометрией форкамеры.

Анализируя графики, изображенные на рисунке 6, стоит отметить первоначальную скорость, которая для всех значений давления различна, она менялась от 2,100 до 2,700 м/с; наибольшая скорость зафиксирована при давлении 20 бар. При

этом на выходе из сопел скорость варьировала от 1400 до 1700 м/с.

Существенное влияние на давление воспламенения оказывает концентрация газа [12]. Графическое отображение данного воздействия представлено на рисунке 6. Анализируя участки графиков, на которых наблюдалось «замедление потока», важно подчеркнуть идентичную продолжительность «замедления», кроме того, следует отметить, что поток не пропадает полностью, а имеет минимальные значения. Использование разработанной форкамеры позволит сократить данный участок за счет ее геометрии.



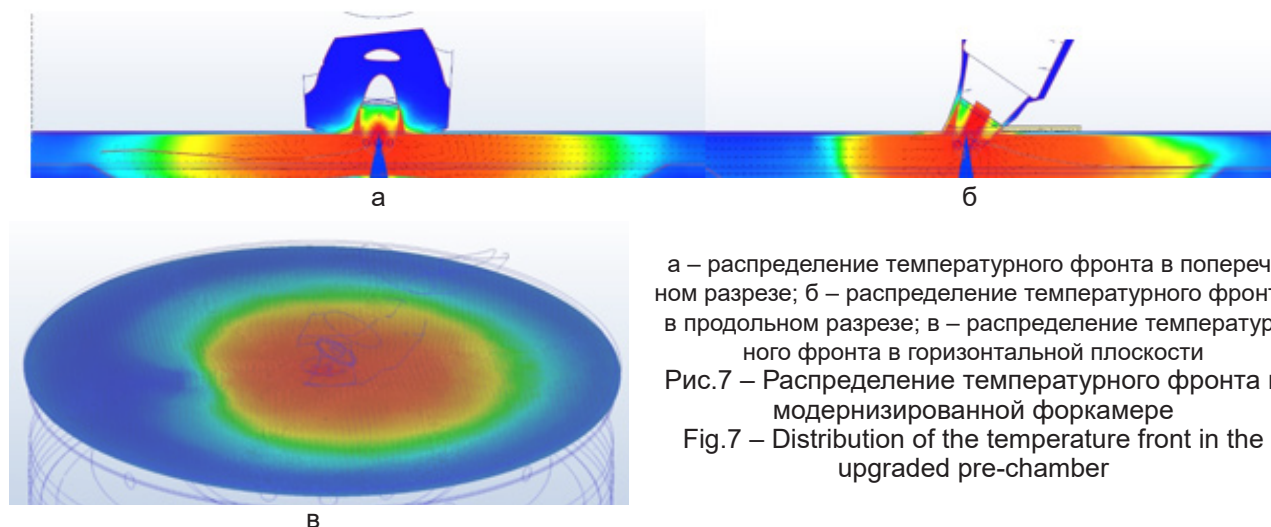
а – давление 50 бар; б – давление 30 бар; в – давление 20 бар

Рис. 6 – Графики распространения воспламененного газа в модернизированной форкамере
Fig.6 – Diagrams of the spread of ignited gas in the upgraded pre-chamber

Для обеспечения наилучшего истечения топливно-воздушной смеси, а также рассредоточения по рабочей камере температурного фронта, распылитель устанавливали под углом. Распределение температурного фронта представлено на рисунке 7.

На представленном рисунке можно наблюдать в трех плоскостях рассредоточение температурного фронта по рабочей камере. На поперечном разрезе отмечалось равномерное распределение по всей рабочей камере, при этом на продольном разрезе и в горизонтальной плоскости зафиксирована некоторая асимметрия распределения, обусловленная процессом окисления. В центре

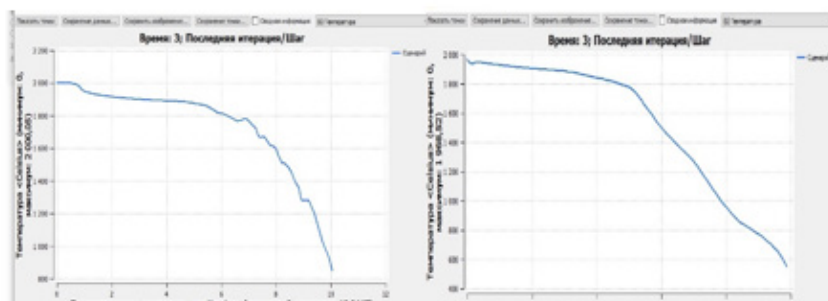
по одному из отверстий зафиксировано «затягивание» воспламенения, обозначенное на рисунке 7 красным. Подобный эффект ранее встречался при исследовании распределения температурного фронта на форкамерах-аналогах производства компаний «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» и технического исследовательского университета короля Абдаллы. Отмеченное на рисунке 7 «затягивание» может оказывать положительное воздействие на рабочий процесс в целом [13,14,15]. Добиться наилучшего эффекта возможно за счет грамотного использования данного явления посредством применения специальных методов – изменение конфигурации головки поршня можно отнести к одному из них.



а – распределение температурного фронта в поперечном разрезе; б – распределение температурного фронта в продольном разрезе; в – распределение температурного фронта в горизонтальной плоскости

Рис.7 – Распределение температурного фронта в модернизированной форкамере

Fig.7 – Distribution of the temperature front in the upgraded pre-chamber



а – усредненный график распределения температурного фронта;

б – минимальное значение температурного фронта

Рис.8 – Графики распределения температурного фронта в модернизированной форкамере

Fig.8 – Graphs of the distribution of the temperature front in the upgraded pre-chamber

На рисунке 8 представлены поясняющие графики, характеризующие процесс распределения температурного фронта по рабочей камере. Анализ смоделированного фронта и его рассредоточения по рабочей камере позволил установить, что среднее значение температуры составляет 800°C при том что начальная температура при воспламенении составляла 2000°C . Стоит отметить минимальное зафиксированное значение температуры 550°C при давлении 20 бар.

Заключение

Разработанная форкамера уникальной геометрической формы способствует наилучшему смесеобразованию, способна качественно улучшить воспламенение газозвушной смеси, увеличить мощность, повысить полноту сжигания газозвушной смеси, уменьшить выбросы в атмосферу неотребовавших газов.

Список источников

1. Демьянов Л. А. Пути повышения надежности и долговечности автотракторных двигателей / Л. А. Демьянов, С. К. Сарафанов // — Москва: Воениздат, 1967 — 152 с.
2. Kalyan K.S. Natural Gas Engines / K.S. Kalyan, K.A. Avinash, R.K. Sundar //—Springer. — 2019. — с. 250.
3. Ваншейдт В. А. Дизели / В. А. Ваншейдт, Н. Н. Иванченко, Л. К. Коллеров /— Ленинград: Машиностроение, 1977 — 480 с.
4. Кнелъц, В.Ф. Принципы и особенности по-

строения систем воздухообеспечения

на двигателях производства АО "Коломенский завод / В. Ф. Кнелъц, А. Б. Матисен //

Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. — 2022. — Т. 9, № 4. — С. 3–9.

5. Ионов В.Г. Исследование отдельных стадий форкамерного зажигания с помощью кинематографического анализа/ В.Г. Ионов. — 1990. — № 2.

6. Чайнов Н.Д. Прочность теплонапряженных базовых деталей среднеоборотных двигателей внутреннего сгорания// Н.Д. Чайнов, М.И. Раенко, В.А. Рыжов. — Москва: Машиностроение, 2015 - 360 с.

7. Рыжов, В.А. Четыре поколения двигателей типоразмерного ряда Д49 / В.А.

Рыжов // Двигателестроение. — 2020. — № 4(282). — С. 35–40

8. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / Издание второе, переработанное. — Москва: Государственное энергетическое издание, 1961 — 675 с.

9. Шукин, В. К. Термодинамика и теплопередача/ Издание третье, переработанное. — Москва: Высшая школа, 1991 — 480 с.

10. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для среднего профессионального образования / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — 16-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 457 с.

11. Дьяченко Н.Х. Теория ДВС/ Рабочие процессы издание второе, дополнительное и пере-



работанное. Ленинградское отделение издательства «Машиностроение», 1974 — 551 с.

12. Сечин А.И. Теория горения и взрыва: учебное пособие/ В.А. Перминов, О.Б. Назаренко и др. / Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. — 162 с.

13. Никитин Е. М. Теоретическая механика / Издание двенадцатое исправленное — МОСКВА: «НАУКА», 1988 — 336 с.

14. Сучков О. К. Технология металлов и конструкционные материалы/ О. К. Сучков, И. А. Чернышев, С. У. Мурашкин, и др. — Издание третье дополненное и переработанное. — Москва: «МЕТАЛЛУРГИЯ», 1974 — 443.

15. Горбачев С. В. Автомобильные системы питания компримированным природным газом/ С.В. Горбачев, Р.Ф. Калимуллин, И. И. Любимов.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2007 — 35 с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Dem'yanov L. A. *Puti povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti avtotraktornykh dvigateley*/ L. A. Dem'yanov, S. K. Sarafanov// — Moskva: Voenizdat, 1967 — 152 с.
2. Kalyan K.S. *Natural Gas Engines* / K.S. Kalyan, K.A. Avinash, R.K. Sundar //—Springer. — 2019. — с. 250.
3. Vansheydt V. A. *Dizeli* / V. A. Vansheydt , N. N. Ivanchenko , L. K. Kollerov /— Leningrad: Mashinostroyeniye, 1977 — 480 с.
4. Knel'ts, V.F. *Printsipy i osobennosti postroyeniya sistem vozdukhosnabzheniya na dvigatelyakh proizvodstva AO "Kolomenskiy zavod* / V. F. Knel'ts, A. B. Matisen // *Mashinostroyeniye: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal*. — 2022. — Т. 9, № 4. — С. 3–9.
5. Ionov V.G. *Issledovaniye otchel'nykh stadiy forkamernogo zazhiganiya s pomoshch'yu kinematograficheskogo analiza*/ V.G. Ionov. — 1990. — № 2.
6. Chaynov N.D. *Prochnost' teplotnapryazhennykh bazovykh detaley sredneoborotnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya*// N.D. Chaynov, M.I. Rayenko, V.A. Ryzhov. — Moskva: Mashinostroyeniye, 2015 - 360 s.
7. Ryzhov, V.A. *Chetyre pokoleniya dvigateley tiporazmernogo ryada D49* / V.A. Ryzhov // *Dvigatelayestroyeniye*. — 2020. — № 4(282). — С. 35–40
8. Deych M.Ye. *Tekhnicheskaya gazodinamika* / Izdaniye vtoroye, pererabotannoye. — Moskva: Gosudarstvennoye energeticheskoye izdaniye, 1961 — 675 с.
9. Shchukin, V. K. *Termodinamika i teploperedacha*/ Izdaniye tret'ye, pererabotannoye. — Moskva: Vysshaya shkola, 1991 — 480 с.
10. Ivanov M. N. *Detali mashin : uchebnik dlya srednego professional'nogo obrazovaniya* / M. N. Ivanov, V. A. Finogenov. — 16-ye izd., ispr. i dop. — Moskva : Izdatel'stvo Yurayt, 2024. — 457 s.
11. D'yachenko N.KH. *Teoriya DVS/ Rabochiye protsessy izdaniye vtoroye, dopolnitel'noye i pererabotannoye. Leningradskoye otdeleniye izdatel'stva «Mashinostroyeniye»*, 1974 — 551 с.
12. Sechin A.I. *Teoriya goreniya i vzryva: uchebnoye posobiye*/ V.A. Perminov, O.B. Nazarenko i dr. / / *Tomskiy politekhnicheskiiy universitet*. — Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2020. — 162 s.
13. Nikitin Ye. M. *Teoreticheskaya mekhanika* / Izdaniye dvenadtsatoye ispravlennoye — MOSKVA: «NAUKA», 1988 — 336 с.
14. Suchkov O. K. *Tekhnologiya metallov i konstruktionsnyye materialy*/ O. K. Suchkov, I. A. Chernyshev, S. U. Murashkin, i dr. — Izdaniye tret'ye dopolnennoye i pererabotannoye. — Moskva: «METALLURGIYA», 1974 — 443.
15. Gorbachev S. V. *Avtomobil'nyye sistemy pitaniya komprimirovannym prirodnyy gazom*/ S.V. Gorbachev, R.F. Kalimullin, I. I. Lyubimov.— Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2007— 35 p.

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», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», г. Рязань, Россия, zbanovnikita25@gmail.com

Попков Никита Евгеньевич, магистрант кафедры «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», г. Рязань, Россия, nikita.porkov@mail.ru

Чернышев Алексей Дмитриевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политех-



нического университета», г. Рязань, Россия, aaa777aa62@yandex.ru

Колошеин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», г. Рязань, Россия, dkoloshein@mail.ru

Ильчук Игорь Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение», ФГБОУ ВО «Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета», г. Рязань, Россия, il4uk.goscha@yandex.ru

Author Information

Zhbanov Nikita S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Energy and Road Transport, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, zbanovnikita25@gmail.com

Popkov Nikita E., Master's student of the Department of Mechanical Engineering, Energy and Road Transport, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia

Chernyshev Alexey D., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanical Engineering, Energy and Road Transport, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, aaa777aa62@yandex.ru

Koloshein Dmitry V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, dkoloshein@mail.ru

Ilchuk Igor A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Systems and Precision Engineering, Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia, il4uk.goscha@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 18.12.2024; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 632.08:631.349
DOI: 10.36508/RSATU.2025.96.32.017

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСАЖДЕНИЕ АЭРОЗОЛЯ НА РАСТЕНИЯ

Андрей Владимирович Калинин¹✉, Михаил Юрьевич Костенко², Георгий Константинович Рембалович³, Роман Владимирович Безносюк⁴, Михаил Юрьевич Афанасьев⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ andrey_kalinin98@mail.ru

² kostenko.mihail2016@yandex.ru

³ university@rgatu.ru

⁴ romario345830@yandex.ru

⁵ m.yu.afanasev@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Обработка растений аэрозолем пестицидов – распространенная операция защиты растений. Расход рабочего раствора определяется размером капель. Для ультрамалообъемного опрыскивания размер капель составляет около 50 мкм, что позволяет существенно уменьшить расход рабочего раствора и повысить эффективность применения пестицидов. Аэрозольная обработка горячим туманом позволяет уменьшить размер капель до менее 20 мкм и улучшить равномерность распределения капель на растениях, но требует специальных условий для осаждения капель. Цель исследования – изучение электростатического осаждения капель аэрозоля на растения.

Методология. Для получения аэрозолей используются генераторы горячего тумана, образующие среднedisперсные аэрозоли с размером капель 10-20 мкм. Поэтому для транспортировки и осаждения капель эффективно использовать электростатическое поле высокой напряженности. Для образования коронного разряда необходимо обеспечить резко неоднородное электрическое поле, которое возникает на коронирующем электроде в виде иглы. Для исследования воздействия электростатического поля на осаждение капель горячего тумана на растения было разработано устройство. Высоковольтное напряжение 1-5 кВ от генератора электростатического поля подвели к различным элементам: отрицательный заряд к электроду на выпускном патрубке генератора горячего тумана, а положительный заряд – к электродам, расположенным в рассадном ящике в почве.

Результаты. При электростатическом поле с напряжением 1000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 4,3; среднее квадратическое отклонение составило 0,7; коэффициент вариации 0,17. При электростатическом поле с напряжением 5000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 14,7; среднее квадратическое отклонение составило 2,1; коэффициент вариации 0,14. С увеличением напряжения электростатического поля осаждение капель увеличивается, однако следует дополнительно изучить вопрос влияния высокого электростатического поля на растения.

Заключение. Количество осаждаемых капель аэрозоля определяется напряженностью электростатического поля. Установлено, что с увеличением напряженности электростатического поля уменьшается средний размер осаждаемых капель, это обусловлено тем, что капли меньшего диаметра осаждаются более интенсивно.

Ключевые слова: аэрозоль, электростатическое поле, высокое напряжение, коронный разряд

Для цитирования: Калинин А.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Афанасьев М.Ю. Влияние электростатического поля на осаждение аэрозоля на растения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.120-127 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.32.017>

Original article

INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELD ON AEROSOL DEPOSITION ON PLANTS

Andrey V. Kalinin¹✉, Mikhail Yu. Kostenko², Georgy K. Rembalovich³, Roman V. Beznosyuk⁴, Mikhail Yu. Afanasyev⁵

© Калинин А.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В., Афанасьев М.Ю., 2025 г.

¹ andrey_kalinin98@mail.ru² kostenko.mihail2016@yandex.ru³ university@rgatu.ru⁴ romario345830@yandex.ru⁵ m.yu.afanasev@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. Treatment of plants with pesticide aerosol is a common plant protection operation. The consumption of the working solution is determined by the droplet size. For ultra-low-volume spraying, the droplet size is about 50 μm , which can significantly reduce the consumption of the working solution and increase the efficiency of pesticide application. Hot fog aerosol treatment can reduce the droplet size to less than 20 μm and improve the uniformity of droplet distribution on plants, but requires special conditions for droplet deposition. The purpose of the study is to study the electrostatic deposition of aerosol droplets on plants.

Methodology. Hot fog generators are used to obtain aerosols, forming medium-dispersed aerosols with a droplet size of 10-20 μm . Therefore, it is effective to use a high-intensity electrostatic field for the transportation and deposition of droplets. To form a corona discharge, it is necessary to provide a sharply non-uniform electric field, which occurs on the corona electrode in the form of a needle. A device was developed to study the effect of an electrostatic field on the deposition of hot fog droplets on plants. High voltage of 1-5 kV from the electrostatic field generator was supplied to different elements: negative charge to the electrode on the outlet pipe of the hot fog generator, and positive charge to the electrodes located in the seedling boxes in the soil.

Results. With an electrostatic field of 1000 V, the average number of droplets per 1 mm^2 was 4.3, the standard deviation was 0.7, and the variation coefficient was 0.17. With an electrostatic field of 5000 V, the average number of droplets per 1 mm^2 was 14.7, the standard deviation was 2.1, and the variation coefficient was 0.14. With an increase in the electrostatic field voltage, droplet deposition increases, but the effect of a high electrostatic field on plants should be further studied.

Conclusion. The number of deposited aerosol droplets is determined by the electrostatic field strength. It has been established that with an increase in the electrostatic field strength, the average size of the deposited droplets decreases, this is due to the fact that droplets of a smaller diameter are deposited more intensively.

Key words: aerosol, electrostatic field, high voltage, corona discharge

For citation: Kalinin A.V., Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V., Afanasyev M.Yu. The influence of the electrostatic field on the deposition of aerosol on plants // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.1, P. 120-127 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.32.017>

Введение

Обработка растений аэрозолями пестицидов – распространенная операция защиты растений. При полнообъемном опрыскивании размер капель 120-300 мкм позволяет обеспечить надежное осаждение капель на листья за счет гравитационных сил, при этом наблюдается повышенный расход рабочего раствора и пестицидов, не все капли попадают на растения [6]. Расход рабочего раствора определяется размером капель. Для ультрамалообъемного опрыскивания размер капель составляет около 50 мкм, что позволяет существенно уменьшить расход рабочего раствора и повысить эффективность применения пестицидов [5]. Аэрозольная обработка горячим туманом позволяет уменьшить размер капель до менее 20 мкм и улучшить равномерность распределения капель на растениях, но требует специальных условий для осаждения капель [2]. Высокая дисперсность аэрозоля затрудняет осаждение капель на поверхности растения, а движение аэрозоля обеспечивается за счет конвекции и давления поступающего аэрозоля [1,3,4]. Цель исследования – изучение электростатического осаждения капель аэрозоля на растения.

Материалы и методы исследования

Для получения аэрозолей используются ге-

нераторы горячего тумана, образующие средне-дисперсные аэрозоли с размером капель 10-20 мкм. Поэтому для транспортировки и осаждения капель эффективно использовать электростатическое поле высокой напряженности [7]. Одним из способов создания электростатического поля является коронный разряд. Для образования коронного разряда необходимо обеспечить резко неоднородное электрическое поле, которое возникает на коронирующем электроде в виде иглы [9]. На коронирующий электрод подается отрицательный потенциал высокого напряжения и небольшой силы тока, что способствует образованию зоны интенсивной ионизации. Характеристики коронного разряда определяют параметры движения капель аэрозоля в электростатическом поле. Устройство коронно-разрядного узла и его параметры оказывают существенное влияние на распределение капель в пространстве. Образование заряженного облака в поле коронного разряда происходит следующим образом: в начале на остриях отрицательных электродов происходит ударная ионизация с высвобождением электронов и образованием положительных ионов. Положительные ионы, находясь у острия отрицательного электрода, нейтрализуются. Высвобожденные электроны движутся к периферии электростатиче-



ского поля с меньшей напряженностью, заряжая отрицательно ионы. Рядом расположенные капли, захватывая отрицательные ионы, приобретают отрицательный заряд.

Отрицательно заряженное облако аэрозоля и положительно заряженные электроды создают электрическое поле напряженностью E . Отрицательно заряженные капли, двигаясь к положительному электроду, создают электрический ветер – упорядоченное движение капель [9]. На заряженные капли действуют сразу несколько сил: сила Кулона, сила тяжести, сила сопротивления воздуха. Рассмотрим закон движения капель под действием указанных сил, в непосредственной близости от положительного электрода (растения) в выбранной системе координат, ось Ox находится горизонтально.

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{kx} - F_{cx} \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = F_{ky} - F_{cy} - G \end{cases} \quad (1)$$

где F_k – сила Кулона, действующая на заряженную каплю, Н;

$\bar{G}$ – сила тяжести заряженной капли, Н;

F_c – сила сопротивления воздуха, Н.

Рассмотрим отдельно силы, входящие в выражение (1).

Сила Кулона, действующая на заряженную каплю:

$$F_k = q \cdot E \quad (2)$$

где q – заряд капли, Кл;

E – напряженность электрического поля.

Величина напряженности электрического поля определится выражением

$$E = \frac{A}{q \cdot l} \quad (3)$$

где A – работа электростатического поля, Дж;

l – расстояние между электродами, м.

Работа электростатического поля определится потерями на токи утечки в устройстве A_y , сопротивление проводников A_c , потерями на коронный разряд A_k , диэлектрическими потерями A_d и потерями на ионизацию воздуха и каплю аэрозоля $A_{и}$

$$A = A_y + A_c + A_k + A_d + A_{и} \quad (4)$$

Потери на токи утечки, которые происходят через диэлектрики, воздух, аэрозоль или другие материалы, трудно учесть, и поэтому их учитывают с помощью коэффициента утечек коронного разряда

$$A_y = A \cdot \eta_y \quad (5)$$

где η_y – коэффициент утечек тока устройства.

Потери на сопротивление проводников выразим через мощность устройства

$$A_c = N_y \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t \quad (6)$$

где N_y – мощность устройства для создания электростатического поля, Вт;

t – время работы устройства для создания электростатического поля, с;

R – сопротивление проводников, Ом;

I – потребляемый устройством ток, А.

Потери на коронный разряд определим через

коэффициент утечек коронного разряда

$$A_k = A \cdot \eta_k \quad (7)$$

где η_k – коэффициент утечек коронного разряда.

Диэлектрические потери из-за поляризации определим через мощность потерь

$$A_d = N_d \cdot t = \frac{U^2 \cdot S}{\rho \cdot l} \quad (8)$$

где N_d – мощность диэлектрических потерь из-за поляризации, Вт;

ρ – удельное сопротивление диэлектрика, Ом·м;

S – площадь электродов, м².

Потери на ионизацию воздуха и каплю аэрозоля определяются преодолением связи электрона с атомом, обеспечением движения ионов и капель между электродами, излучением (фотоионизация), нагревом окружающей среды, образованием озона.

$$A_{и} = E_{и} = N \cdot n \cdot k \cdot e \cdot U_{элст} \quad (9)$$

где N – количество капель аэрозоля, шт;

k – коэффициент пропорциональности, зависящий от химического состава аэрозоля;

n – количество элементарных зарядов в капле, шт;

e – заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$) Кл.

Если расстояние между электродами небольшое, а величина напряжения электростатического поля велика, то среднюю величину напряженности определим выражением

$$E_{ср} = \frac{U_{элст}}{l} \quad (10)$$

где $U_{элст}$ – напряжение электростатического поля, В;

l – расстояние между электродами, м.

Величина заряда капли определится выражением:

$$q = n \cdot e \quad (11)$$

где n – количество элементарных зарядов в капле, шт;

e – заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$) Кл.

Таким образом, сила Кулона, действующая на заряженную каплю, определится выражением

$$F_k = q \cdot \frac{A}{q \cdot l} = \frac{A}{l} \quad (12)$$

Сила тяжести заряженной капли:

$$\bar{G} = mg \quad (13)$$

где m – масса капли, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Рассчитаем массу капли аэрозоля через её объем и плотность.

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \quad (14)$$

где V – объем капли, кг;

ρ – плотность капли, кг/м³;

d – диаметр капли, м.

Тогда сила заряженной капли определится выражением

$$\bar{G} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \cdot g \quad (15)$$



Силу сопротивления воздуха для среднедисперстных капель для ламинарного тока определим в соответствии с законом Стокса

$$F_c = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d \cdot v \quad (16)$$

где η – динамическая вязкость воздуха, Па·с;
 r – радиус капли, ($d=2r$) м;
 v – скорость движения капли, м/с.

Подставим в выражение (1) значения величин из выражений (12), (14), (15), и (16) и упростим выражение

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_x}{\rho \cdot d^2} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_y}{\rho \cdot d^2} \end{cases} \quad (17)$$

где α – угол направления силовых линий электростатического поля у электрода, град;

Разделим переменные и проинтегрируем

$$\begin{cases} \int \frac{dv_x}{\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_x}{\rho \cdot d^2}} = \int dt \\ \int \frac{dv_y}{\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_y}{\rho \cdot d^2}} = \int dt \end{cases} \quad (18)$$

После интегрирования получим

$$\begin{cases} -\frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_x}{\rho \cdot d^2} \right) = t + C_1 \\ -\frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_y}{\rho \cdot d^2} \right) = t + C_2 \end{cases} \quad (19)$$

Для определения постоянных интегрирования подставим в выражение (18) начальные условия: при $t=0$ скорость потока аэрозоля $v_x = v_{0x}$; $v_y = 0$

$$\begin{cases} C_1 = -\frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right) \\ C_2 = -\frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right) \end{cases} \quad (20)$$

Подставим значения постоянных интегрирования в выражение (18) и преобразуем

$$\begin{cases} \frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_x}{\rho \cdot d^2} \right)} = t \\ \frac{1}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \ln \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_y}{\rho \cdot d^2} \right)} = t \end{cases} \quad (21)$$

Потенцируем выражение (20) и преобразуем

$$\begin{cases} v_x = \frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} \\ v_y = \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} \end{cases} \quad (22)$$

Полученное выражение (22) характеризует скорость движения капель аэрозоля в электростатическом поле рядом с листом растения. Определим закон движения капель аэрозоля

лим закон движения капель аэрозоля

$$\begin{cases} dx = \frac{\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} dt - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} dt \\ dy = \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} dt - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} dt \end{cases} \quad (23)$$

Проинтегрировав, получим

$$\begin{cases} x = \frac{\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} t - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} + C_3 \\ y = \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} t - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} + C_4 \end{cases} \quad (24)$$

Для определения постоянных интегрирования подставим в выражение (24) начальные условия: при $t=0$ скорость потока аэрозоля $x = x_0$; $y = y_0$

$$\begin{cases} x_0 + \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} = C_3 \\ y_0 + \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} = C_4 \end{cases} \quad (25)$$

Подставим значения постоянных интегрирования в выражение (25) и преобразуем

$$\begin{cases} x = x_0 + \frac{\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} t - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \cos \alpha - \frac{18 \cdot \eta \cdot v_{0x}}{\rho \cdot d^2} \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} \cdot (e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} - 1) \\ y = y_0 + \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2}} t - \frac{\left(\frac{6 \cdot A}{l \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^3} \sin \alpha - g \right)}{\left[\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} \right]^2} \cdot (e^{-\frac{18 \cdot \eta}{\rho \cdot d^2} t} - 1) \end{cases} \quad (26)$$

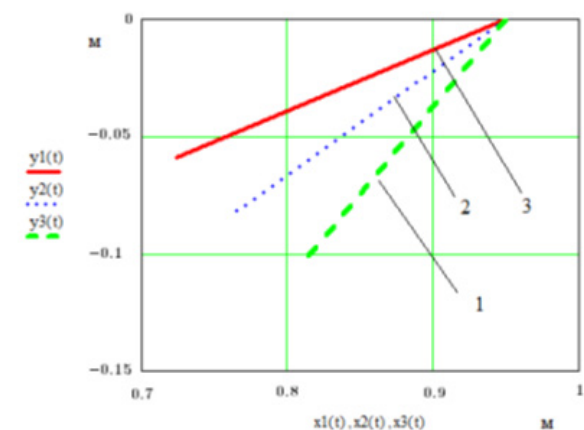
Полученное выражение (26) характеризует закон движения капель аэрозоля в электростатическом поле рядом с листом растения (положительным электродом).

Результаты и обсуждение

Рассчитаем траекторию заряженной капли в программе Mathcad (рис. 1).

Анализ траектории показывает, что сила электромагнитного взаимодействия значительно превышает силу тяжести капли и силу сопротивления воздуха.

Для исследования воздействия электростатического поля на осаждение капель горячего тумана на растения было разработано устройство. Устройство включало генератор горячего тумана, генератор электростатического поля и ящики с микровзленью (рис. 2). Генератор горячего тумана был оборудован электродом с острыми лучами для создания коронного разряда [9,10,11,12]. Высоковольтное напряжение 1-5 кВ от генератора электростатического поля подводили к различным элементам: отрицательный заряд к электроду на выпускном патрубке генератора горячего тумана, а положительный заряд к электродам, расположенным в рассадном ящике в почве. На растениях закреплены пронумерованные листки алюминиевой фольги (рис. 3). При запуске генератора горячего тумана была возможность создавать электростатическое поле.

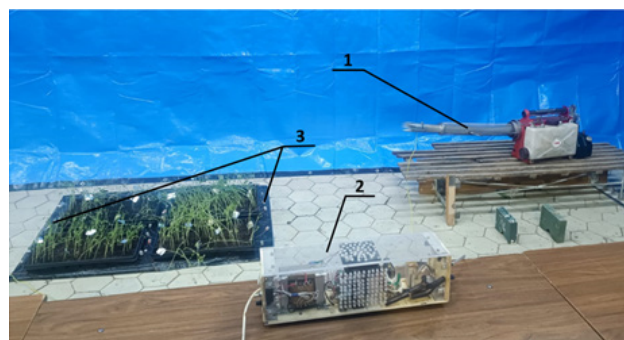


- 1 – угол направления силовых линий $\alpha=0,5$ рад;
2 – угол направления силовых линий $\alpha=0,75$ рад;
3 – угол направления силовых линий $\alpha=1$ рад

Рис. 1 – Траектория движения заряженной капли с нижней стороны листа

1 – angle of direction of force lines $\alpha=0.5$ rad; 2 – angle of direction of force lines $\alpha=0.75$ rad;
3 – angle of direction of force lines $\alpha=1$ rad

Fig. 1 – Trajectory of a charged droplet moving from the bottom side of a sheet



- 1 – генератор горячего тумана; 2 – генератор электростатического поля; 3 – микрозелень с закрепленными электродами

Рис. 2 – Общий вид устройства для осаждения капель горячего тумана на растения под воздействием электростатического поля

1 – hot fog generator; 2 – electrostatic field generator; 3 – microgreens with fixed electrodes

Fig. 2 – General view of the device for depositing hot fog droplets on plants under the influence of an electrostatic field



Рис. 3 – Общий вид положительных электродов – растений с закрепленной фольгой

Fig. 3 – General view of positive electrodes – plants with fixed foil

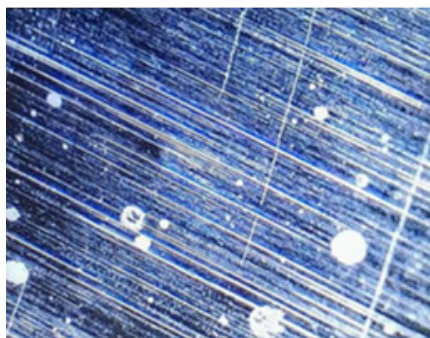


Рис. 4 – Общий вид снимков капель (кристаллов) аэрозоля на участке пластины из алюминиевой фольге площадью 1 мм^2

Fig. 4 – General view of the photographs of aerosol droplets (crystals) on a section of an aluminum foil plate with an area of 1 мм^2

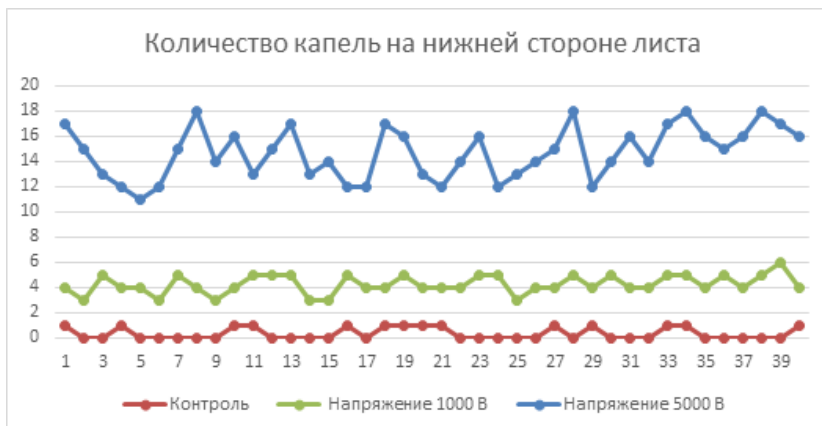


Рис. 5 – Количество капель на нижней стороне пластины из алюминиевой фольге (площадью 1 мм^2)

Fig. 5 – Number of drops on the bottom side of an aluminum foil plate (area 1 мм^2)

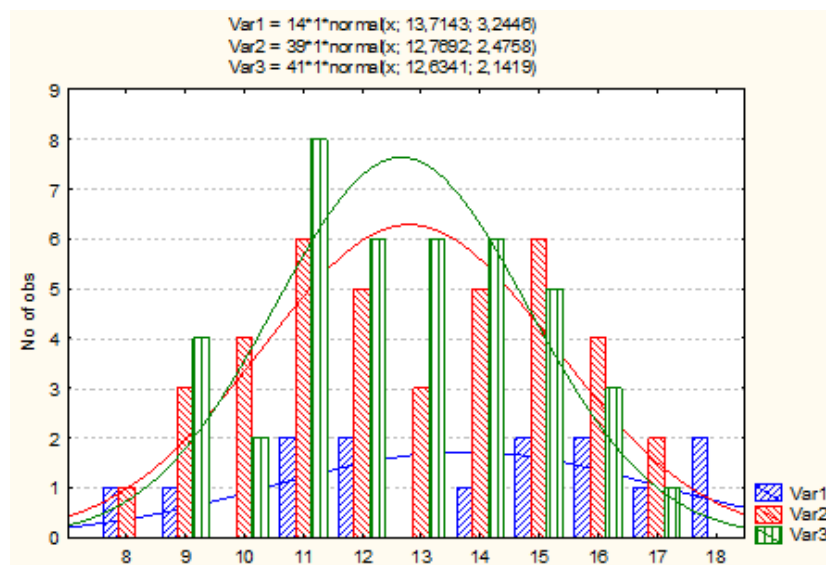


Для осаждения на пластинках алюминиевой фольги применяли 20 %-й раствор поваренной соли NaCl. Это обусловлено тем, что капли горячего тумана имеют небольшой размер и быстро испаряются, а по солевым остаткам на фольге возможно определить характер распределения и размер капель. Затем пронумерованные листки алюминиевой фольги анализировали с помощью микроскопа.

Для анализа использовали по 40 пластинок из алюминиевой фольги, закрепленных на растениях.

Анализ рисунка 5 показал, что количество осаждаемых капель на нижней стороне листьев растений определяется величиной электростатического поля. При электростатическом поле с

напряжением 1000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 4,3; среднее квадратическое отклонение составило 0,7; коэффициент вариации 0,17. При электростатическом поле с напряжением 5000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 14,7; среднее квадратическое отклонение составило 2,1; коэффициент вариации 0,14. Следует отметить, что осаждение капель в контрольном варианте – без электростатического поля – происходило только на краях пластинок. С увеличением напряжения электростатического поля осаждение капель увеличивается, однако следует дополнительно изучить вопрос влияния высокого электростатического поля на растения [13,14,15].



Var1 – контроль; Var2 – электростатическое поле с напряжением 1000 В;
 Var3 – электростатическое поле с напряжением 5000 В

Рис. 6 – Размер капель при различных способах осаждения

Var1 – control; Var2 – electrostatic field with voltage of 1000 V; Var3 – electrostatic field with voltage of 5000 V

Fig. 6 – Droplet size for different deposition methods

Анализ рисунка 6 показал, что с увеличением напряженности электростатического поля уменьшается средний размер осаждаемых капель, это обусловлено тем, что капли меньшего диаметра осаждаются более интенсивно. В контрольном варианте количество капель было небольшим, а капли крупнее 13,7 мкм. При электростатическом поле с напряжением 1000 В размер капель составил 12,8 мкм, при электростатическом поле с напряжением 5000 В размер капель составил 12,6 мкм. Работа перемещения заряженной капли в электростатическом поле должна превосходить величину работы силы тяжести капли, тогда она будет осаживаться на нижней поверхности листьев растений.

Аэрозоль горячего тумана увеличивает влажность окружающей среды, что приводит к увеличению ионизации и способствует движению заряженных капель [7,13]. Скорость воздушного потока существенно влияет на процесс осаждения капель, увеличение скорости воздушного потока приводит к срыву и испарению капель, поэтому следует ограничивать скорость капель величиной менее 1,5 м/с для их осаждения. Процесс осаждения капель обычно занимает несколько секунд. При этом скорость осаждения определяется напряженностью электростатического поля.

Заключение

Количество осаждаемых капель аэрозоля определяется напряженностью электростатического поля. При электростатическом поле с напряжением 1000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 4,3; среднее квадратическое отклонение составило 0,7; коэффициент вариации 0,17. При электростатическом поле с напряжением 5000 В среднее количество капель на 1 мм² составило 14,7; среднее квадратическое отклонение составило 2,1; коэффициент вариации 0,14. Установлено, что с увеличением напряженности электростатического поля уменьшается средний размер осаждаемых капель, это обусловлено тем, что капли меньшего диаметра осаждаются более интенсивно. В контрольном варианте количество капель было небольшим, а капли – крупнее 13,7 мкм; при электростатическом поле с напряжением 1000 В размер капель составил 12,8 мкм, при электростатическом поле с напряжением 5000 В размер капель составил 12,6 мкм. Работа перемещения заряженной капли в электростатическом поле должна превосходить величину работы силы тяжести капли, тогда она будет осаживаться на нижней поверхности листьев растений.

Список источников

1. Анализ существующих систем электроста-



тического опрыскивания на БПЛА / И. Г. Смирнов, Р. К. Курбанов, Л. А. Марченко, Д. М. Горшков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 2(39). – С. 67-73. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-2-67-73. – EDN EQJKPX.

2. Богданова, А. А. Влияние условий культивирования на качественные и количественные показатели *Chlorella vulgaris* / А. А. Богданова, Е. А. Флерова, А. А. Паюта // Химия растительного сырья. – 2019. – № 4. – С. 293-304. – DOI 10.14258/jcprgm.2019045130. – EDN HYADSI.

3. Ворожцов, Б. И. Проблематика и особенности использования электростатических полей для нейтрализации мелкодисперсных аэрозолей / Б. И. Ворожцов, М. Ю. Степкина, О. Б. Кудряшова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – № 2(6). – С. 67-69. – EDN SELCOZ.

4. Зарипов, Т. Ш. Осаждение заряженных аэрозольных частиц под действием электрических сил / Т. Ш. Зарипов // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2013. – Т. 155, № 3. – С. 53-62. – EDN RWGXCJ.

5. Ксенз, А. Я. Результаты исследований усовершенствованной технологии электростатического опрыскивания / А. Я. Ксенз // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 4(9). – С. 119-123. – EDN TAOSWV.

6. Ксенз, А. Я. Совершенствование технологии и оборудования для опрыскивания сельскохозяйственных культур с применением электризации жидкостно-воздушной смеси : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Я. Ксенз. – Краснодар, 2015. – 181 с. – EDN TUZXLV.

7. Лекомцев, П. Л. Осаждение электроаэрозольной струи в растительном слое / П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, Е. В. Дресвянникова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 6(57). – С. 21. – EDN GFPUDH.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

8. Обработка растений сои микроудобрениями с электростатическим их осаждением / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, В. В. Колесник, Е. Б. Демина // Научная жизнь. – 2017. – № 9. – С. 12-19. – EDN YKZNLJ.

9. Пономарев, П. Т. Направленные ионизированные потоки воздуха в энергосберегающих технологиях вентиляции производственных помещений / П. Т. Пономарев, Н. А. Попов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 4. – С. 123-135. – EDN SMHYUX.

10. Степкина, М. Ю. Экспериментальное исследование способа ускорения осаждения мелкодисперсного аэрозольного облака под действием электрического поля / М. Ю. Степкина, И. Р. Ахмадеев, Б. И. Ворожцов // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 134-138. – EDN TBEJWT.

11. Токарев А.В. Коронный разряд и его применение. – Бишкек: КРСУ, 2009. – 138 с.

12. Убоженко, М. Ю. Электростатическое поле в технологических приложениях (ОБЗОР) / М. Ю. Убоженко // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 6(52). – С. 297-304. – DOI 10.25699/SSSB.2023.52.6.044. – EDN KHQNKQ.

13. Экспериментальное исследование эволюции мелкодисперсных частиц при различных методах генерации аэрозольного облака / М. Ю. Степкина, О. Б. Кудряшова, А. А. Антонникова, Е. В. Муравлев // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 6. – С. 501-504. – DOI 10.15372/AOO20180614. – EDN URSAOH.

14. Электрокультурное земледелие. Интернет ресурс. Текст: электронный // agtecher.com 2017-2024 — URL: <https://agtecher.com/ru/electro-culture-agriculture/>

15. Хитойлик фермерлар сабзавотларни электр токи орқали тезроқ ўстиришмоқда. Интернет ресурс. Текст: электронный // <https://kun.uz> — URL: <https://kun.uz/kr/news/2018/11/30/hitojlik-fermerlar-sabzavotlarni-elektr-toki-orkali-tezrok-ustirismokda>

References

1. Analiz sushchestvuyushchih sistem elektrostatičeskogo opryskivaniya na BPLA / I. G. Smirnov, R. K. Kurbanov, L. A. Marchenko, D. M. Gorshkov // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2020. – Т. 67, № 2(39). – С. 67-73. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-2-67-73. – EDN EQJKPX.

2. Bogdanova, A. A. Vliyaniye usloviy kul'tivirovaniya na kachestvennyye i kolichestvennyye pokazateli *Chlorella vulgaris* / A. A. Bogdanova, E. A. Flerova, A. A. Payuta // Himiya rastitel'nogo syr'ya. – 2019. – № 4. – С. 293-304. – DOI 10.14258/jcprgm.2019045130. – EDN HYADSI.

3. Vorozhcov, B. I. Problematika i osobennosti ispol'zovaniya elektrostatičeskikh polej dlya nejtralizacii melkodispersnykh aerorozolej / B. I. Vorozhcov, M. Yu. Stepkina, O. B. Kudryashova // Yuzhno-Sibirskij nauchnyy vestnik. – 2014. – № 2(6). – С. 67-69. – EDN SELCOZ.

4. Zaripov, T. Sh. Osazhdeniye zaryazhennykh aerorozol'nykh chastic pod dejstviem elektricheskikh sil / T. Sh. Zaripov // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki. – 2013. – Т. 155, № 3. – С. 53-62. – EDN RWGXCJ.

5. Ksenz, A. Ya. Rezul'taty issledovaniy usovershennstovannoj tekhnologii eletkrostatičeskogo opryskivaniya / A. Ya. Ksenz // Innovacii v sel'skom hozyajstve. – 2014. – № 4(9). – С. 119-123. – EDN TAOSWV.

6. Ksenz, A. Ya. Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniya dlya opryskivaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur s primeneniem elektrizacii zhidkostno-vozdushnoj smesi : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk



/ A. Ya. Ksenz. – Krasnodar, 2015. – 181 s. – EDN TUZXLV.

7. Lekomcev, P. L. Osazhdenie elektroaerozol'noj strui v rastitel'nom sloe / P. L. Lekomcev, A. M. Niyazov, E. V. Dresvyannikova // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2019. – № 6(57). – S. 21. – EDN GFPUDH.

8. Obrabotka rastenij soi mikroudobreniyami s elektrostatičeskimi ih osazhdeniem / S. I. Kambulov, V. B. Rykov, V. V. Kolesnik, E. B. Demina // Nauchnaya zhizn'. – 2017. – № 9. – S. 12-19. – EDN YKZNLJ.

9. Ponomarev, P. T. Napravlennye ionizirovannye potoki vozduha v energosberegayushchih tekhnologiyah ventilyacii proizvodstvennyh pomeshchenij / P. T. Ponomarev, N. A. Popov // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2014. – № 4. – S. 123-135. – EDN SMHYUX.

10. Stepkina, M. Yu. Eksperimental'noe issledovanie sposoba uskoreniya osazhdeniya melkodispersnogo aerozol'nogo oblaka pod dejstviem elektricheskogo polya / M. Yu. Stepkina, I. R. Ahmadeev, B. I. Vorozhnev // Polzunovskij vestnik. – 2014. – № 3. – S. 134-138. – EDN TBEJWT.

11. Tokarev A.V. Koronnyj razryad i ego primenenie. – Bishkek: KRSU, 2009. – 138 s.

12. Ubozhenko, M. Yu. Elektrostaticheskoe pole v tekhnologicheskikh prilozheniyah (OBZOR) / M. Yu. Ubozhenko // Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik. – 2023. – № 6(52). – S. 297-304. – DOI 10.25699/SSSB.2023.52.6.044. – EDN KHQNKQ.

13. Eksperimental'noe issledovanie evolyucii melkodispersnyh chastic pri razlichnyh metodah generacii aerozol'nogo oblaka / M. Yu. Stepkina, O. B. Kudryashova, A. A. Antonnikova, E. V. Muravlev // Optika atmosfery i okeana. – 2018. – T. 31, № 6. – S. 501-504. – DOI 10.15372/AOO20180614. – EDN URSAOH.

14. Elektrokul'turnoe zemledelie. Internet resurs. Tekst: elektronnyj //agtecher.com 2017-2024 — URL: <https://agtecher.com/ru/electro-culture-agriculture/>

15. Hitojlik fermerlar sabzavotlarni elektr toki orqali tezroq ystirishmoqda. Internet resurs. Tekst: elektronnyj // <https://kun.uz> — URL: <https://kun.uz/kr/news/2018/11/30/hitojlik-fermerlar-sabzavotlarni-elektr-toki-orkali-tezroq-ustirismokda>

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Калинин Андрей Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», andrey_kalinin98@mail.ru

Костенко Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kostenko.mihail2016@yandex.ru

Рембалович Георгий Константинович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Безносук Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», romario345830@yandex.ru

Афанасьев Михаил Юрьевич, канд. с-х. наук, доцент кафедры электротехники и физики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», m.yu.afanasev@mail.ru

Author Information

Kalinin Andrey V., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, andrey_kalinin98@mail.ru

Kostenko Mikhail Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Rembalovich Georgy K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Beznosyuk Roman V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, romario345830@yandex.ru

Afanasyev Mikhail Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Physics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, m.yu.afanasev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; одобрена после рецензирования 04.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 27.01.2025; approved after reviewing 04.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 128-134
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp 128-134

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.8:586.631.2
DOI: 10.36508/RSATU.2025.70.80.018

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КОНТЕЙНЕРЕ
ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ**

Дмитрий Владимирович Колошеин¹✉, Сергей Николаевич Борычев², Андрей Сергеевич Попов³, Дмитрий Николаевич Михайлов⁴, Лилия Александровна Маслова⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ dkoloshein@mail.ru

² university@rgatu.ru

³ popov1975.popoff@yandex.ru

⁴ dm.mikh.rgatu@gmail.com

⁵ maslovala@bk.ru

Аннотация

Проблема и цель. Снижение урожайности картофеля в 2024 году обусловлено неблагоприятными погодными условиями и уменьшением посевных площадей, что требует адаптации аграрного сектора к более устойчивым условиям ведения хозяйства. Аграрии РФ намерены внедрять более устойчивые сорта картофеля и современные технологии, чтобы улучшить урожайность и минимизировать потери при хранении. Поэтому интеграция систем вентиляции, основанных на компьютерном моделировании, становится важной задачей для повышения эффективности хранения в условиях снижения посевных площадей. Цель исследования – теоретический анализ динамики воздушного потока в контейнере для хранения картофеля.

Методология. Исследования включали в себя несколько этапов моделирования и анализа. В первую очередь, создавалась модель контейнера, заполненного картофелем, где картофель представлялся в виде простых сфер диаметром от 50 до 80 мм, что соответствует семенной фракции сельскохозяйственной продукции и обеспечивает реалистичную визуализацию заполненного объема. Для описания движения воздушного потока через заполненную пористую среду применялась математическая модель, основанная на уравнении Дарси, что позволяет описать поведение воздушного потока в заданных условиях. Теоретический анализ данных проводился с использованием программных компонентов Microsoft Excel и Statistica.

Результаты. Результаты исследований показывают, что для расчета параметров контейнера с перфорированным воздухопроводом необходимо учитывать объем контейнера, объем воздуховода, полезный объем для хранения картофеля и площадь вентиляционных отверстий. В свою очередь, эти параметры зависят от размеров контейнера и перфорированного воздуховода, а также от фракционного состава клубней картофеля, что далее позволяет определить диаметр вентиляционных отверстий. Движение воздушного потока внутри контейнера смоделировано как движение через пористую среду с помощью уравнения Дарси. Для численного решения задачи по воздушному потоку контейнер поделен на сетки с ячейками, где каждая пористая ячейка имеет свои граничные условия, включая давление на входе и выходе. Визуализация этой модели позволяет анализировать поля скоростей и распределение давления, что важно для оптимизации вентиляции и обеспечения качественного хранения картофеля.

Заключение. Проведенные исследования позволили визуализировать воздушный поток в пределах каждой ячейки, что в дальнейшем позволит понять, как воздушный поток проходит через массу



картофеля и какая часть объёма контейнера может иметь более высокий риск недостаточного обдува воздушным потоком. Последующее развитие модели необходимо связывать с уравнениями потока тепла и влажности с целью определения температурных и влажностных градиентов в картофельной массе.

Ключевые слова: контейнер, моделирование воздушных потоков, хранение, картофель, потери, проницаемость среды, градиент давления, скорость фильтрации воздуха

Для цитирования: Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С Михайлов Д.Н., Маслова Л.А. Теоретический анализ динамики воздушного потока в контейнере для хранения картофеля // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.128-134 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.70.80.018](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.70.80.018)

Original article

THEORETICAL ANALYSIS OF AIR FLOW DYNAMICS IN A POTATO STORAGE CONTAINER

Dmitry V. Koloshein¹✉, Sergey N. Borychev², Andrey S. Popov³, Dmitry N. Mikhailov⁴, Liliya A. Maslova⁵

^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ dkoloshein@mail.ru

² university@rgatu.ru

³ popov1975.popoff@yandex.ru

⁴ dm.mikh.rgatu@gmail.com

⁵ maslovala@bk.ru

Abstract

Problem and purpose. The decrease in potato yields in 2024 is due to unfavorable weather conditions and a decrease in sown areas, which requires the adaptation of the agricultural sector to more sustainable farming conditions. Russian farmers intend to introduce more resistant potato varieties and modern technologies to improve yields and minimize storage losses. Therefore, the integration of ventilation systems based on computer modeling is becoming an important task for increasing storage efficiency in the context of declining sown areas. The purpose of the study is a theoretical analysis of the air flow dynamics in a potato storage container.

Methodology. The research included several stages of modeling and analysis. First of all, a model of a container filled with potatoes was created, where the potatoes were represented as simple spheres with a diameter of 50 to 80 mm, which corresponds to the seed fraction of agricultural products and provides a realistic visualization of the filled volume. To describe the movement of air flow through a filled porous medium, a mathematical model based on the Darcy equation was used, which will allow describing the behavior of the air flow under given conditions. Theoretical data analysis was performed using the software components Microsoft Excel and Statistica.

Results. The results of the research show that to calculate the parameters of a container with a perforated air duct, it is necessary to take into account the container volume, the air duct volume, the useful volume for storing potatoes and the area of the ventilation holes. In turn, these parameters depend on the dimensions of the container and the perforated air duct, as well as on the fractional composition of potato tubers, which then allows us to determine the diameter of the ventilation holes. The movement of the air flow inside the container is modeled as movement through a porous medium using the Darcy equation. To numerically solve the air flow problem, the container is divided into grids with cells, where each porous cell has its own boundary conditions, including the pressure at the inlet and outlet. Visualization of this model allows us to analyze the velocity fields and pressure distribution, which is important for optimizing ventilation and ensuring high-quality storage of potatoes.

Conclusion. The conducted studies allowed visualization of the air flow within each cell, which will further allow understanding how the air flow passes through the potato mass and what part of the container volume may have a higher risk of insufficient air flow. Subsequent development of the model must be linked to the equations of heat and humidity flow in order to determine the temperature and humidity gradients in the potato mass.

Key words: container, air flow modeling, storage, potatoes, losses, medium permeability, pressure gradient, air filtration rate.

For citation: Koloshein D. V., Borychev S. N., Popov A. S., Mikhailov D. N., Maslova L. A. Theoretical analysis of air flow dynamics in a potato storage container // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, N.1, P.128-134 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.70.80.018](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.70.80.018)

Введение

В 2024 году в картофелехранилища отправилось 7,3 млн тонн картофеля, что на 20 % меньше, чем в предыдущем году. Снижение урожайности обусловлено неблагоприятными погодными условиями. Кроме того, снижение посевных площадей также сыграло свою роль в снижении объемов производства. Чтобы компенсировать дефицит, аграрии планируют внедрять более устойчивые сорта картофеля, способные переносить экстремальные погодные условия. Специалисты агро-сектора также активно изучают возможности применения современных технологий для улучшения урожайности и сокращения потерь при хранении. Программы поддержки фермеров включают в себя субсидии на приобретение современного оборудования, предназначенного для хранения картофеля. Внедрение современных систем вентиляции и контроля микроклимата в картофелехранилищах значительно повышает их эффективность и способствует более длительному сохранению продукции.

Причем использование компьютерного моделирования позволяет создать более точные модели воздушного потока и теплового обмена не только в буре, но и в контейнерах, что дает возможность идентифицировать потенциальные проблемные области. Это особенно актуально в условиях снижения общего объема урожая, так как потери из-за неправильного хранения становятся более ощутимыми. Практическая реализация данных моделей включает в себя установку оптимизированных систем вентиляции, основанных на результатах моделирования, что позволяет достичь более равномерного воздухообмена. Таким образом, интеграция теоретических исследований и технологий может существенно повысить эффективность картофелехранилищ.

Целью проводимого исследования был теоретический анализ динамики воздушного потока в контейнере для хранения картофеля. Изучение воздушного потока является важным аспектом, так как оно напрямую влияет на качество и срок хранения продукта. Изменения температуры и влажности внутри контейнера могут существенно повлиять на развитие микроорганизмов и возникновение гниения.

В рамках исследований создана визуализация контейнера со следующими размерами:

- длина 120 см;
- ширина 100 см;
- высота 100 см.

В дальнейшем в визуализированной модели добавили перфорированный воздуховод (рис. 2), установленный в центре контейнера [1]. При этом поперечное сечение воздуховода имеет форму круга [1]. Основным техническим результатом контейнера заключается в регулировании воздушных потоков через массу хранящегося в нем картофеля. Перфорированный воздуховод интегрируется в вентиляционную систему картофелехранилища с помощью фитинга. В процессе штабелирования аналогичных контейнеров в хранилище в нижнюю часть перфорированного воздуховода устанавли-

ваются дроссель-клапан и фитинг. Эти элементы служат связующим компонентом между контейнерами внутри одного штабеля, обеспечивая требуемую циркуляцию воздуха, что критически важно при хранении различных сортов продукции в смежных штабелях [2]. При этом вентиляционные отверстия размещены равномерно по поверхности перфорированного воздуховода и имеют одинаковый диаметр.

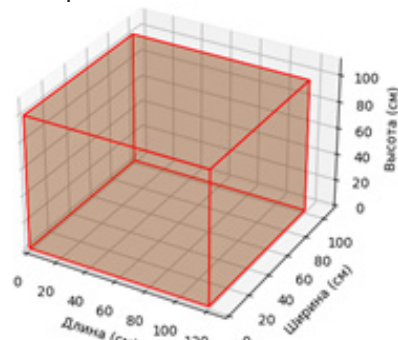


Рис. 1 – 3d модель контейнера
Fig. 1 – Container 3d model

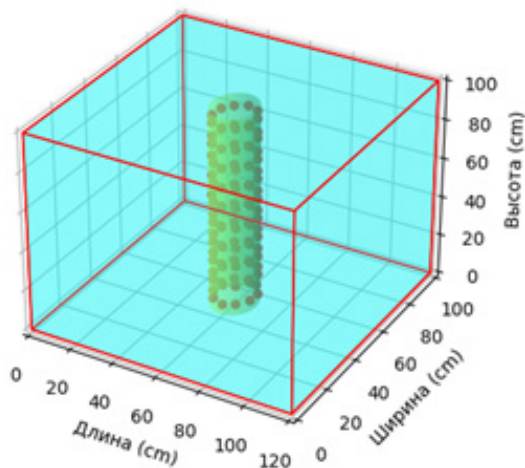


Рис. 2 – Модель контейнера с перфорированным воздуховодом по центру
Fig. 2 – Model of a container with a perforated air duct in the center

Методика

Дальнейшее моделирование включало в себя добавление воздушного потока и заполнение контейнера картофелем (рис. 3). При этом для визуализации картофеля в контейнере использовалось создание простых сфер, которые будут представлять собой картофель. Размер каждой сферы варьируется в диапазоне 50-80 мм, что соответствует семенной фракции картофеля. На основе уравнения Дарси описывалась математическая модель движения воздушного потока в пористой среде [2, 3]. Обработку теоретического анализа производили в программах Microsoft Excel, Statistica.

Результаты и их обсуждение

Для расчета основных теоретических параметров контейнера с перфорированным воздуховодом необходимо учесть ряд факторов, таких как объем контейнера, объем воздуховода, полезный объем для хранения картофеля, площадь вен-



тиляционных отверстий. При этом если размеры контейнера и диаметр трубы известны, можно использовать известные формулы и определить объем контейнера и вентиляционной трубы, зная площадь вентиляционных отверстий по формуле 1:

$$A_{\text{вент.}} = n \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \quad (1)$$

где n – количество отверстий, d – диаметр одного отверстия, см.

Диаметр вентиляционных отверстий определяется исходя из фракционного состава клубней картофеля [4]. Тогда, исходя из размеров клубней 50-80 мм, примем диаметр равным 3,2 см.

Для моделирования движения воздушного потока внутри контейнера, заполненного картофелем, можно использовать ряд подходов из механики жидкостей и газовой динамики. В этом случае поток воздуха взаимодействует со сложной пористой средой, которую составляют клубни картофеля. Тогда картофель и пространство между клубнями можно моделировать как пористую среду с определенной пористостью, которая определяет, какую долю объема занимает воздух. Для описания воздушного потока через пористую среду воспользуемся законом Дарси:

$$v = -\frac{k}{\mu} \nabla P, \quad (2)$$

где v – скорость фильтрации воздуха, м/с,
 k – проницаемость среды, см²,
 μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с,
 ∇P – градиент давления, атм/см.

Для численного решения уравнения создадим трехмерную сеточную модель контейнера. Каждый элемент сетки рассматривается как пористая ячейка. В свою очередь, зададимся граничными условиями, а именно:

– давление на входе $P_{\text{входа}}$ – атмосферное давление плюс избыточное давление от системы вентиляции;

– давление на выходе $P_{\text{на выходе}}$ – атмосферное давление.

Вентиляционные отверстия в воздуховоде задают точки входа воздуха, распределяя воздух по контейнеру (рис. 3).

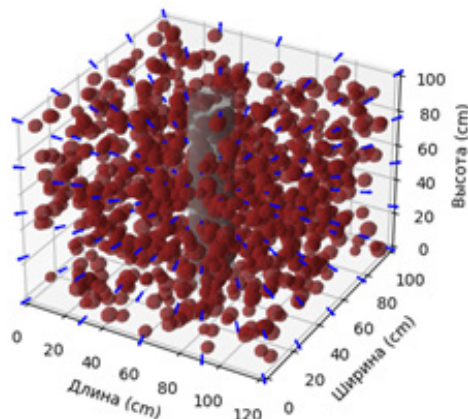


Рис. 3 – Моделирование воздушных потоков в контейнере

Fig. 3 – Modeling air flows in a container

Для решения задачи необходимо воспользоваться методом конечных элементов для численного решения уравнений. В свою очередь, для этого требуется задать начальное распределение давления и решать уравнение Дарси для каждой ячейки сетки [7, 8].

В дальнейшем разделим контейнер на трехмерную сетку, состоящую из ячеек 20×20×20 см (рис. 4), тогда общее количество ячеек будет определяться по формуле 3. Ячейки в представленной модели кубической формы. Модель допускает снижение размеров ячейки, к примеру, 10×10×10 см, или 5×5×5 см, где ожидается значительный градиент воздушных потоков, таких как возможное завихрение рядом с вентиляционными отверстиями, а также вблизи геометрических особенностей, например углов или конструктивных сужений.

$$N_x = \frac{L}{20}, N_y = \frac{W}{20}, N_z = \frac{H}{20}, \quad (3)$$

где L – длина контейнера, см;

W – ширина контейнера, см

H – высота контейнера, см.

Тогда решим уравнение Дарси в дискретной форме, которое запишем как:

$$v_x(i, j, k) = -\frac{k}{\mu} \frac{P(i+1, j, k) - P(i, j, k)}{\Delta x}, \quad (4)$$

где $P(i, j, k)$ – давление в ячейке с индексами i, j, k , атм/см;

k – проницаемость среды, см²;

μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

При этом должны соблюдаться граничные условия, а именно – вход воздуха через воздуховод и установленное давление или скорость потока на входе (5):

$$P_{\text{входа}} = P_0 \text{ или } v_{x\text{вх}} = v_0, \quad (5)$$

При этом атмосферное давление на выходных отверстиях

$$P_{\text{выхода}} = P_{\text{атм}}, \quad (6)$$

В свою очередь, в расчете принимаем, что стенки контейнера непроницаемы, то есть:

$$v \cdot n = 0, \quad (7)$$

где n – нормаль к поверхности.

В дальнейшем в рамках модели и по мере получения информации можно будет анализировать следующие параметры:

– поле скоростей, показывающее, как воздушный поток движется внутри контейнера;

– поле распределения давлений, для идентификации области повышенного или пониженного давления;

– проверка сходимости, то есть контроль остатков для проверки.

Построим визуализацию сеточной трехмерной модели контейнера, описанную выше (рис. 4).

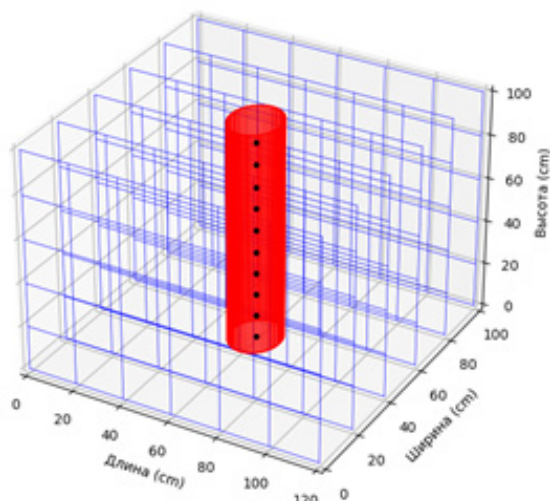


Рис. 4 – Трехмерная сеточная модель
прямоугольного контейнера
Fig. 4 – 3d mesh model of a rectangular container

Интегрирование уравнения Дарси по объему каждой ячейки позволит сформулировать баланс воздушного потока для каждой ячейки, учитывая потоки, входящие и выходящие через грани (8):

$$a_p P_p = \sum_{nb} a_{nb} P_{nb} + b, \quad (8)$$

где a_p и a_{nb} – коэффициенты, учитывающие проницаемость и геометрию ячейки;

P_p и P_{nb} – давление в текущей и соседних ячейках соответственно.

Полученное уравнение связывает давление в центре ячейки с давлением в соседних ячейках.

При этом граничные условия вносят корректировки в расчет, поэтому зададимся следующими значениями: на входе – фиксированное давление или скорость; на выходе – фиксируемое давление у поверхности выхода $P_{атм}$.

В дальнейшем выполним интегрирование по каждому контрольному объему. Рассмотрим небольшую ячейку (с центром в точке P и соседними узлами E, W, N, S, T, B) [9], тогда воздушный поток через грань представим в дискретной форме (9):

$$\begin{cases} F_E = -\frac{k_E}{\mu} \frac{P_E - P_P}{\Delta x} \times A_E \\ F_W = -\frac{k_W}{\mu} \frac{P_P - P_W}{\Delta x} \times A_W \\ F_N = -\frac{k_N}{\mu} \frac{P_N - P_P}{\Delta y} \times A_N \\ F_S = -\frac{k_S}{\mu} \frac{P_P - P_S}{\Delta y} \times A_S \\ F_T = -\frac{k_t}{\mu} \frac{P_T - P_P}{\Delta z} \times A_T \\ F_B = -\frac{k_B}{\mu} \frac{P_P - P_B}{\Delta z} \times A_B \end{cases}, \quad (9)$$

Суммируя все потоки и приравнявая их к нулю, получим (10):

$$(F_E - F_W) + (F_N - F_S) + (F_T - F_B) = 0, \quad (10)$$

Итак, получаем систему алгебраических уравнений для расчета давления P на сетке [10, 11].

На основе полученных результатов выполним базовую визуализацию сетки с воздушными потоками через грани ячеек (рис. 5).

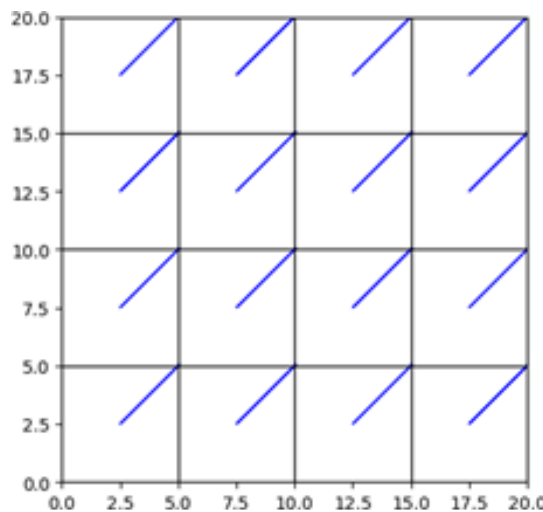


Рис. 5 – Визуализация сетки и воздушных потоков
в контейнере
Fig. 5 - Visualization of the grid and air holes in the container

На рисунке 5 создана сетка и добавлены стрелки, имитирующие воздушный поток в пределах каждой ячейки. Полученная модель визуализации воздушного потока в контейнере позволяет редактировать направление его движения, что, в свою очередь, с учетом лабораторных и практических исследований даст возможность рационально разработать конструкцию вентиляционных отверстий и направляющих распределения воздушного потока.

Заключение

Теоретический анализ динамики воздушного потока в контейнере, размеры которого составляют: длина 120 см, ширина 100 см, высота 100 см, является важным элементом для обеспечения оптимальных условий хранения. Понимание того, как воздух циркулирует внутри контейнера для хранения картофеля, позволяет лучше контролировать микроклимат, включая температуру и влажность. Это, в свою очередь, предотвращает образование конденсата, который может привести к порче картофеля. Эффективная циркуляция воздуха помогает равномерно распределять охлаждение и предотвращать перегрев отдельных участков внутри контейнера.

Компьютерное моделирование воздушного потока предоставляет важную информацию для оптимизации конструкции контейнеров и системы вентиляции. Используя эти данные, можно внедрять более эффективные решения для управления воздушными потоками в зависимости от объема и геометрии пространства картофелехранилища.

Дальнейшим результатом моделирования станет распределение давления и скорости воздуха в каждой ячейке контейнера, что позволит понять, как воздушный поток проходит через массу картофеля и какие части контейнера могут иметь более высокий риск недостаточного обдува воздушным потоком. При этом общее число ячеек в представляемом контейнере составляет 150. Это, в свою очередь, дает возможность оценить необходимую



мощность вентилятора и/или размеры вентиляционных отверстий для обеспечения равномерного распределения воздуха.

Возможности улучшения разработанной модели касаются добавления уравнений потока тепла и влажности с целью определения температурных и влажностных градиентов в картофельной массе.

Список источников

1. Патент на полезную модель № 222055 U1 Российская Федерация, МПК A01F 25/14, B65D 85/34, B65D 21/00. контейнер для хранения картофеля: № 2023121488: заявл. 16.08.2023: опубл. 08.12.2023 / Д. Н. Михайлов, С. Н. Бoryчев, Д. В. Колошеин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга; 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Константинов, Г.Е. Конспект лекций по курсу Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] / Г.Е. Константинов. – Донецк: ДонГУ, 2010. – 1540,1 Кб. – Режим доступа: <https://nashaucheba.ru/v55394/?cc=7> – Дата обращения 14.10.2024.
4. Theoretical and economic studies of a floor duct in the form of cylindrical pipes / A.I. Volkov,

L.A. Maslova, D.V. Koloshein., S.N. Borychev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. С. 012129.

5. Подземная гидромеханика : учеб. для вузов / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. – Москва; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2005. – 495 с.
6. Прусов И.А. Двумерные краевые задачи фильтрации /И.А. Прусов. – Минск: Университетское, 1987. – 181 с.
7. Морозкин Н. Н., Садретдинов А. А. Решение одной задачи фильтрации с использованием неравномерных сеток по пространству // Вестник БашГУ. 2013, Т. 18, №4, С. 965-968.
8. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику. М.: Изд-во Моск. физ. техн. ин-та, 1994. 528 с.
9. Полянин А. Д., Зайцев В. Ф. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики: Точные решения. М.: Физматлит, 2002. 432 с.
10. Данилов А. А. Технология построения неструктурированных сеток и монотонная дискретизация уравнения диффузии: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.18 / Данилов А.А. - Москва, 2010. - 148 с.
11. Василевский Ю. В., Данилов А. А. Взаимодействие с САПР для построения расчётных сеток в сложных областях // Труды Математического центра им. Н.И. Лобачевского. 2009. Т. 39. С. 5–12.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Patent na poleznuyu model' № 222055 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01F 25/14, B65D 85/34, B65D 21/00. konteyner dlya khraneniya kartofelya: № 2023121488: yayavl. 16.08.2023: opubl. 08.12.2023 / D. N. Mikhaylov, S. N. Borychev, D. V. Koloshein [i dr.]; yayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego obrazovaniya "Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet imeni P.A. Kostycheva".
2. Idel'chik, I. Ye. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Tekst] / I. Ye. Idel'chik; pod red. M. O. Shteynberga; 3-ye izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 1992. – 672 s.
3. Konstantinov, G. Ye. Konspekt lektsiy po kursu Gidrogazodinamika [Elektronnyy resurs] / G. Ye. Konstantinov. – Donetsk: DonGU, 2010. – 1540,1 Kb. – Rezhim dostupa: <https://nashaucheba.ru/v55394/?cc=7> – Data obrashcheniya 14.10.2024.
4. Theoretical and economic studies of a floor duct in the form of cylindrical pipes / A.I. Volkov, L.A. Maslova, D.V. Koloshein., S.N. Borychev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. S. 012129.
5. Podzemnaya gidromekhanika : ucheb. dlya vuzov / K. S. Basniyev, N. M. Dmitriyev, R. D. Kanevskaya, V. M. Maksimov. – Moskva; Izhevsk: In-t komp'yuter. issled., 2005. – 495 s.
6. Prusov I.A. Dvumernyye krayevyye zadachi fil'tratsii /I.A. Prusov. – Minsk: Universitetskoye, 1987. – 181 s.
7. Morozkin N. N., Sadretidinov A. A. Resheniye odnoy zadachi fil'tratsii s ispol'zovaniyem neravnomernykh setok po prostranstvu // Vestnik BashGU. 2013, T. 18, №4, S. 965-968.
8. Fedorenko R. P. Vvedeniye v vychislitel'nyuyu fiziku. M.: Izd-vo Mosk. fiz. tekhn. in-ta, 1994. 528 s.
9. Polyenin A. D., Zaytsev V. F. Spravochnik po nelineynym uravneniyam matematicheskoy fiziki: Tochnyye resheniya. M.: Fizmatlit, 2002. 432 s.
10. Danilov A. A. Tekhnologiya postroyeniya nestruktirovannykh setok i monotonnaya diskretizatsiya uravneniya diffuzii: dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.13.18 / Danilov A.A. - Moskva, 2010. - 148 s.
11. Vasilevskiy YU. V., Danilov A. A. Vzaimodeystviye s SAPR dlya postroyeniya raschetnykh setok v slozhnykh oblastiakh // Trudy Matematicheskogo tsentra im. N.I. Lobachevskogo. 2009. T. 39. S. 5–12.

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

Колошеин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», dkoloshein@mail.ru

Борычев Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства инженерных сооружений и механики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Попов Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», porov1975.popoff@yandex.ru

Михайлов Дмитрий Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», dm.mikh.rgatu@gmail.com

Маслова Лилия Александровна, ст. препод. кафедры «Строительство инженерных сооружений и механика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», maslovala@bk.ru

Author Information

Koloshein Dmitry V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, dkoloshein@mail.ru

Borychev Sergey N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Department of Civil Engineering and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Popov Andrey S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department of Construction of engineering structures and mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, popov1975.popoff@yandex.ru

Mikhaylov Dmitry N., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, dm.mikh.rgatu@gmail.com

Maslova Liliya A., Senior Lecturer, Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, maslovala@bk.ru

Статья поступила в редакцию 25.11.2024; одобрена после рецензирования 05.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 25.11.2024; approved after reviewing 05.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 629.113

DOI: 10.36508/RSATU.2025.84.61.019

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАКТОРОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Эмилия Васильевна Кузнецова¹, Иван Алексеевич Успенский², Иван Александрович Юхин³✉,
Александр Анатольевич Горохов⁴**

¹ Региональный институт бизнеса и управления, г. Рязань, Россия

^{2,3} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

⁴ АвтоПодбор «Golden key», г. Санкт-Петербург, Россия

¹ Dizel.diagram@mail.ru

² ivan.uspensckij@yandex.ru

³ yuival@rambler.ru

⁴ sanyazanyat@gmail.com

Аннотация

Проблемы и цель. В статье проведён анализ существующих методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса и намечены пути их совершенствования. Установлено, что наиболее перспективным методом диагностирования тракторов агропромышленного комплекса является комплексная диагностика, которая сочетает несколько методов (например: инструментальный метод, компьютерная диагностика, дистанционная диагностика).

Материалы и методы. В результате исследования сформулированы практические рекомендации, направленные на совершенствование комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса, заключающиеся в приведении сложной и разнообразной диагностической информации в единую систему на основе формирования диагностического кода. Цель исследований – повышение точности, достоверности, объективности и универсальности диагностирования различных технических систем путем использования комплексных методов диагностирования технического состояния.

Результаты. Одним из путей совершенствования комплексных методов диагностирования является приведение результатов диагностической информации в единую систему на основе формирования диагностического кода. Этот подход позволит прогнозировать переход исправного технического состояния в неисправное в условиях эксплуатации, что уменьшит затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Заключение. Комплексный подход обеспечивает высокую точность и достоверность диагностирования технического состояния. Однако большой объём разнообразной диагностической информации (например: разнонаправленность выхода диагностических показателей за пределы нормативно-технической документации; различные единицы измерения) затрудняет оценку общего технического состояния, особенно в условиях эксплуатации, что приводит к принятию несвоевременных решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Ключевые слова: диагностирование, техническое состояние, диагностические показатели, нормативно-техническая документация, техническое обслуживание, ремонт, диагностический код

Для цитирования: Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Горохов А.А. Совершенствование диагностирования тракторов агропромышленного комплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С. 135-142 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.84.61.019>

Original article

IMPROVING THE DIAGNOSIS OF TRACTORS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Emilia V. Kuznetsova¹, Ivan A. Uspensky², Ivan A. Yukhin³✉, Alexander A. Gorokhov⁴

¹ Regional Institute of Business and Management, Ryazan, Russia

^{2,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

⁴ Avtopodbora "Golden key", St. Petersburg, Russia

¹ Dizel.diagram@mail.ru² ivan.uspensckij@yandex.ru³ yuival@rambler.ru⁴ sanyazanyat@gmail.com

Abstract

Problem and purpose. The article analyzes the existing methods of diagnosing the technical condition of tractors in the agro-industrial complex and outlines ways to improve them. It has been established that the most promising methods of diagnosing tractors of the agro-industrial complex are complex diagnostics, which combines several methods (for example: instrumental method, computer diagnostics, remote diagnostics).

Materials and methods. As a result of the research, practical recommendations are formulated aimed at improving comprehensive methods for diagnosing the technical condition of tractors in the agro-industrial complex, which consist in bringing complex and diverse diagnostic information into a single system based on the formation of a diagnostic code.

Results. One of the ways to improve complex diagnostic methods is to bring the results of diagnostic information into a single system based on the formation of a diagnostic code. This approach will make it possible to predict the transition from a serviceable technical condition to a faulty one under operating conditions, which will reduce maintenance and repair costs.

Conclusion. An integrated approach ensures high accuracy and reliability of technical condition diagnostics. However, a large amount of diverse diagnostic information (for example: the multidirectional output of diagnostic indicators beyond the limits of regulatory and technical documentation; different units of measurement) makes it difficult to assess the overall technical condition, especially under operating conditions, which leads to untimely decisions on maintenance and repair.

Key words: diagnostics, technical condition, diagnostic indicators, regulatory and technical documentation, maintenance, repair, diagnostic code

For citation: Kuznetsova E.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Gorokhov A.A. Improving the diagnostics of tractors in the agro-industrial complex // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1. P.135-142 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.84.61.019>

Введение

Приоритетным направлением развития агро-промышленного комплекса России является поддержание сельскохозяйственной техники в исправном техническом состоянии на основе диагностирования технического состояния, что способствует экономической устойчивости сельскохозяйственных предприятий. Регулярная диагностика обеспечивает поддержание оптимальных режимов работы техники, что не только повышает её производительность, но и улучшает топливную экономичность, снижая эксплуатационные расходы. Кроме того, диагностирование способствует увеличению срока службы тракторов за счёт раннего обнаружения и устранения потенциальных проблем, а также играет ключевую роль в обеспечении безопасности, минимизируя риск аварийных ситуаций и поломок в условиях эксплуатации.

Однако, в условиях санкций и ограничений на поставки запчастей сельскохозяйственная техника сталкивается с серьёзными вызовами, связанными с дефицитом запасных частей и их значительным подорожанием. Это обусловлено тем, что многие производители оригинальных комплектующих прекратили прямые поставки, что вынуждает сельскохозяйственные предприятия искать альтернативные пути приобретения необходимых запасных частей.

Одним из таких путей является параллельный импорт, который предполагает закупку через посредников или третьи страны. Из-за сложностей в организации логистических цепочек возникают задержки в получении необходимых запчастей, что приводит к длительным простоям техники и особенно критично в периоды посевных или убороч-

ных кампаний. Кроме того, параллельный импорт увеличивает логистические затраты, в результате стоимость запасных частей значительно возрастает.

Затраты на закупку запасных частей являются одной из ключевых статей расходов при оценке общих затрат на техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники. Таким образом, уменьшение затрат на техническое обслуживание и ремонт на основе совершенствования методов диагностирования технического состояния является актуальной задачей. Цель исследований – повышение точности, достоверности, объективности и универсальности диагностирования различных технических систем путем использования комплексных методов диагностирования технического состояния.

Материалы и методы исследования

В настоящее время существует большое разнообразие методов диагностирования технического состояния: визуальные, инструментальные, вибрационные, тепловизионные, лабораторные, акустические, компьютерные, дистанционные, комплексные. Методы диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса представлены в таблице 1.

Наиболее перспективным методом диагностирования тракторов агропромышленного комплекса является комплексная диагностика, которая сочетает несколько методов (например: инструментальный метод, компьютерная диагностика, дистанционная диагностика). Выбор комплекса методов зависит от конкретных задач диагностирования, доступного оборудования и ресурсов.



Таблица 1 – Методы диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса

№	Методы диагностирования	Результат	Пример
1	Визуальные методы	Осмотр техники на предмет видимых повреждений	Утечка технических жидкостей, наличие пятен, трещин, коррозии
2	Инструментальные методы	Использование измерительных приборов	Компрессометр, датчик температуры
3	Вибрационные методы	Анализ вибраций узлов и агрегатов	Дисбаланс двигателя, подшипников, зубчатых передач
4	Тепловизионные методы	Оценка температурных полей с помощью тепловизоров	Перегрев двигателя, утечка тепла
5	Лабораторные методы	Анализ проб технических жидкостей	Моторное масло на наличие металлической стружки
6	Акустические методы	Анализ звуковых сигналов, издаваемых техникой	Стуки, шумы и их тональность
7	Компьютерные методы	Подключение диагностического оборудования к бортовому компьютеру	Диагностический адаптер «АСКАН – 10»
8	Дистанционные методы	Использование телематических систем для удалённого мониторинга.	Система «ЭРА – ГЛОНАСС»
9	Комплексные методы	Сочетание нескольких методов для получения полной картины технического состояния.	Компьютерные, инструментальные, дистанционные

Результаты исследований и их обсуждение

Изучению комплексных методов диагностирования технического состояния техники посвящены работы ряда отечественных учёных, зарубежных ученых и многих других: Ананьин А.Д., Бышов Н.В., Жернаков С.В., Кокорев Г.Д., Курчаткин В.В., Михлин В.М., Набокин В.А., Ольшевский С.Н., Пучин Е.А., Соловьёв Р.Ю., Улитовский Б.А., Успенский И.А., Черноиванов В.И., Чечет В.А. и зарубежные ученые L. Yang, K.S. Rojagoplan и многие другие.

Кокорев Г.Д. в своих исследованиях предложил инновационный метод анализа диагностических показателей, собираемых с датчиков, таких как температура, давление. Используя современные алгоритмы обработки данных, разработал подходы, которые позволяют прогнозировать износ узлов и систем на основе анализа фактических значений диагностических показателей. Разработанный метод позволяет предсказать, когда определённые узлы или системы достигнут критического уровня износа. Это помогает планировать замену или ремонт до того, как произойдёт поломка и выявлять отклонения на ранних стадиях. Комплексный подход позволяет обнаруживать даже незначительные отклонения в работе технических систем (двигатель, система управления, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование), которые могут свидетельствовать о начале развития неисправности. В своих работах активно применял методы машинного обучения, которые позволили улучшить точность прогнозирования за счёт анализа сложных зависимостей и выявления

скрытых закономерностей [1, 2].

Работы Успенского И.А. действительно играют ключевую роль в повышении надёжности и эффективности сельскохозяйственной техники. Его инновационные подходы, основанные на использовании анализа большого объёма диагностической информации, позволяют изменить подход к техническому обслуживанию и ремонту. Вместо традиционного реактивного обслуживания, когда ремонт выполняется после возникновения поломки, его подход способствует переходу к превентивному обслуживанию, что имеет ряд значительных преимуществ. Преимущества данного подхода заключаются в обнаружении признаков износа или отклонения в работе техники на ранних стадиях. Это даёт возможность устранять проблемы до того, как они приведут к серьёзным поломкам, что особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации сельскохозяйственной техники в летний период.

Превентивное обслуживание позволяет избежать дорогостоящих ремонтов и замены крупных узлов. Вместо этого выполняются своевременные профилактические работы, которые обходятся значительно дешевле, что особенно актуально в условиях ограниченных финансовых ресурсов сельхозпредприятий и делает процесс управления техникой более прозрачным и эффективным [3, 4].

Бышов Н.В. в своих исследованиях предложил инновационные алгоритмы машинного обучения, которые активно применяются для прогнозирования выхода диагностических показателей за



пределы нормативно-технической документации и позволяют адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации техники. Его метод основан на глубоком анализе данных, собранных в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники и направлен на выявление закономерностей, которые могут указывать на потенциальные неисправности. Ключевые аспекты его работы включают использование фактических данных и алгоритмы, которые анализируют большие объёмы данных, накопленных за годы эксплуатации техники.

Преимуществом метода является возможность выявлять зависимости, которые могут быть незаметны при эксплуатации. Эти подходы позволяют учитывать сложные взаимосвязи между различными параметрами работы техники и повышают точность диагностирования, что делает прогнозы более точными и актуальными для различных сценариев эксплуатации техники. Разработанные алгоритмы он интегрировал в системы мониторинга техники, что позволяет операторам и сервисным службам получать предупреждения о потенциальных проблемах в реальном времени [5].

Пучин Е.А. разработал методы, которые учитывают условия эксплуатации техники, такие как нагрузка, температура и позволяют планировать техническое обслуживание и ремонт в зависимости от реальных условий эксплуатации техники. Разработка методов, которые учитывают условия эксплуатации техники (нагрузка, температура), является важным шагом для повышения точности прогнозирования износа основных технических систем. Пучин Е.А. установил, что условия эксплуатации оказывают значительное влияние на фактическое техническое состояние и исследовал факторы, которые необходимо учитывать при диагностировании технического состояния (нагрузка, влажность и тип почвы). Комплексные подходы к интеграции адаптивных методов диагностики с системами мониторинга в реальном времени позволили более точно планировать затраты на техническое обслуживание и ремонт [6].

Соловьёв Р.Ю. является одним из ведущих специалистов в области интеграции систем диагностики с технологиями интернета (IoT). Его исследования сосредоточены на разработке интеллектуальных систем, которые способны в реальном времени отслеживать техническое состояние, а также прогнозировать возможные неисправности путём объединения разнообразной диагностической информации. Эти платформы позволяют собирать, обрабатывать и анализировать информацию в режиме реального времени, обеспечивая оперативный контроль за техническим состоянием. Преимущества заключаются в анализе большого объёма диагностической информации на основе фактических данных и использовании облачных технологий для хранения и обработки информации. Это позволяет обеспечить масштабируемость систем, доступ к диагностической информации с любого устройства, подключённого к интернету и

интуитивно понятные интерфейсы [7].

Васильев В.В. разработал передовые модели прогнозирования остаточного ресурса узлов и агрегатов техники, которые основаны на комплексном анализе диагностических показателей: вибрации (анализ вибраций позволяет выявлять износ подшипников, дисбаланс двигателей); температуры охлаждающей жидкости (повышение температуры может указывать на перегрев двигателя, износ трущихся деталей или проблемы в системе охлаждения); давления в системах (масляной, гидравлической, топливной), свидетельствующего об утечках или износе сопряжённых деталей. Применяются алгоритмы машинного обучения (например, регрессионный анализ, нейронные сети), которые позволяют прогнозировать остаточный ресурс на основе текущих данных. Используются методы статистического анализа, такие как анализ выживаемости, чтобы оценить вероятность выхода узла из строя в определённый период времени. Прогнозирование остаточного ресурса позволяет своевременно заменять или ремонтировать узлы до того, как они выйдут из строя; раннее выявление износа и своевременная замена деталей помогают избежать дорогостоящих ремонтов.

Чечет В.А. разработал методы создания цифровых двойников, которые основаны на использовании диагностической информации, а также информации о конструкции и эксплуатационных характеристиках техники, что является одним из наиболее перспективных направлений в области диагностики и прогнозирования технического состояния. Цифровые двойники представляют виртуальные копии физических объектов, которые позволяют моделировать их работу в различных условиях. Точная виртуальная модель воспроизводит поведение техники и взаимодействие с окружающей средой. Например, он смоделировал цифровой двойник трактора в условиях эксплуатации в жаркую погоду и исследовал риск перегрева двигателя. Преимуществом цифровых двойников является возможность имитации эксплуатации техники в различных условиях (температура, влажность, тип почвы, нагрузка), что помогает определить оптимальные режимы работы техники и тестировать изменения в конструкции или настройках без риска повреждения физического объекта. Кроме того, цифровые двойники интегрируются с системами интернета (IoT), что позволяет обновлять модель в реальном времени [8].

Преимущества комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса заключаются в высокой точности, достоверности, объективности и универсальности диагностирования различных технических систем и использовании технологий интернета при создании цифровых двойников [9].

Преимущества комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса представлены в таблице 2.



Таблица 2 – Преимущества комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса

№	Преимущества	Результат	Пример
1	Высокая точность	Применение точного измерительного оборудования	Датчики, диагностические сканеры
2	Достоверность	Большой объём диагностической информации	Ошибки, сроки проведения ТОиР, значения НТД
3	Объективность	Использование значений нормативно – технической документации	Анализ фактических значений диагностических показателей
4	Адаптивность	Легко интегрируются с бортовыми компьютерами	Электронный блок управления
5	Универсальность	Подходит для различных технических систем	Двигатель, система управления, трансмиссия, ходовая часть, электро-оборудование

Недостатки комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса заключаются в большом объёме сложной и разнообразной диагностической информации (например: разнонаправленность выхода диагностических показателей за пределы нормативно-технической документации;

различные единицы измерения), что затрудняет оценку общего технического состояния и приводит к несвоевременному техническому обслуживанию и ремонту [9]. Недостатки комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Недостатки комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса

№	Недостатки	Результат	Пример
1	Большой объём сложной и разнообразной диагностической информации	Сложность оценки общего технического состояния	Техническое состояние двигателя, системы управления, трансмиссии, ходовой части, электро-оборудования
2	Разнонаправленность диагностических показателей	При увеличении одних диагностических показателей техническое состояние ухудшается, при других, наоборот, улучшается	Увеличение температуры охлаждающей жидкости приводит к ухудшению, а увеличение давления моторного масла к улучшению технического состояния
3	Различные единицы измерения диагностических показателей	Температура и давление	Температура моторного масла измеряется в градусах Цельсия, а давление моторного масла в Паскалях.
4	Отсутствие классификации исправного технического состояния	Сложность прогнозирования выхода диагностических показателей за пределы нормативно – технической документации	Руководство по эксплуатации

Пути совершенствования комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса должны заключаться в приведении сложной и разнообразной диагностической информации в единую систему на основе формирования диагностического кода. Совершенствование комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса на основе формирования диагностического кода возможно за счёт разделения диагностических показателей по направлению выхода за пределы нормативно-технической документации на основе кривой нормального распределения случайной

величины. Кроме того, необходимо привести все диагностические показатели к единой единице измерения, что возможно за счёт разработки теоретических формул по переводу их фактических значений в безразмерную величину (например: от 0 до 9 баллов). Кроме того, для прогнозирования выхода диагностических показателей за пределы нормативно-технической документации необходимо выделить категории исправного технического состояния на основе известных периодов эксплуатации [9, 10, 11]. Пути совершенствования комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса представлены в таблице 4.



Таблица 4 – Пути совершенствования комплексных методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса

№	Пути совершенствования	Результат	Пример
1.	Приведение сложной и разнообразной диагностической информации к единой системе	Формирование диагностического кода	ТС (III), где ТС – общее техническое состояние, балл; (III) – категория исправного технического состояния
2.	Разделение диагностических показателей по направлению выхода за пределы нормативно – технической документации	Выделение типов диагностических показателей	Прямые и обратные
3.	Приведение диагностических показателей к единым единицам измерения.	Разработка формул по переводу диагностических показателей в безразмерную величину	От 0 до 9 баллов
4.	Прогнозирование выхода диагностических показателей за пределы нормативно – технической документации	Выделение категорий исправного технического состояния	I категория: от 0 до 3 баллов; II категория: от 3 до 6 баллов; III категория: от 6 до 9 баллов

Заключение

Таким образом, проведён анализ существующих методов диагностирования технического состояния тракторов агропромышленного комплекса. Установлено, что наиболее перспективным методом диагностирования тракторов агропромышленного комплекса является комплексная диагностика, которая сочетает несколько методов (например: инструментальный метод, компьютерная диагностика, дистанционная диагностика). Комплексный подход обеспечивает высокую точность и достоверность диагностирования технического состояния. Однако большой объём разнообразной диагностической информации (например: разнонаправленность выхода диагностических показателей за пределы нормативно-технической документации, различные единицы измерения) затрудняет оценку общего технического состояния, особенно в разных условиях эксплуатации, что приводит к принятию несвоевременных решений по техническому обслуживанию и ремонту. Одним из путей совершенствования комплексных методов диагностирования является приведение диагностической информации в единую систему на основе формирования диагностического кода [12]. Он позволит прогнозировать переход исправного технического состояния в неисправное в условиях эксплуатации и уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Список источников

1. К выбору показателей эффективности при исследовании и совершенствовании системы технической эксплуатации автомобильного транспорта в сельском хозяйстве / Н. В. Бышов, С. Н. Борячев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 1058-1071. – EDN TROMIJ.
2. Increase of the resource of brake pads by using the driver's information device about wearing friction

linings / I. A. Uspensky, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, No. 12. – P. 2320-2323. – EDN AHQETS.

3. Кокорев, Г. Д. Стратегии технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта / Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, И. Н. Николотов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2009. – № 3(34). – С. 72-75. – EDN KZOGSB.
4. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения / Е. А. Родионова, И. А. Успенский, И. А. Юхин, В. А. Волченкова // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 7(265). – С. 30-34. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-7-30-34. – EDN KSHEMY.
5. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники / Н. В. Бышов, С. Н. Борячев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 86. – С. 300-311. – EDN TJAOJD.
6. Сорокин, И. А. Определение момента окончания полнопрограммных и усеченных испытаний на предельное техническое состояние дизельного двигателя при ускоренной обкатке / И. А. Сорокин, Е. А. Пучин // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 10. – С. 38-41. – EDN REMCWR.
7. Повышение послеремонтной безотказности агрегатов тракторов / В. П. Лялякин, Д. А. Гительман, Р. Ю. Соловьев, А. К. Ольховацкий // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2023. – № 6. – С. 36-42. – DOI 10.33920/sel-10-2306-04. – EDN ODUCUL.
8. Роцин, Д. В. Снижение погрешностей диа-



гностирования составных частей двигателя внутреннего сгорания тракторов и самоходных машин / Д. В. Рошин, В. В. Егоров, В. А. Чечет // Научно-практические исследования. – 2019. – № 5.1(20). – С. 42-46. – EDN ZVTZGS.

9. Кузнецова, Э. В. Прогнозирование технического состояния тракторов сельскохозяйственного назначения в полевых условиях / Э. В. Кузнецова, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 12. – С. 395-400. – EDN CTRKUV.

10. Диагностирование рулевого управления и подвески автомобилей в процессе эксплуатации / А. А. Карташов, Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Ко-

стычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.

11. Theoretical analysis of chroming electrolytes and properties of chrome coatings / Y. A. Stekolnikov, S. D. Polischuk, D. G. Churilov [et al.] // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 836 KEM. – P. 142-150. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.836.142. – EDN JMFKFU.

12. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement / I. Danilov, A. Marusin, M. Mikhlik, I. Uspensky // Transport Problems. – 2020. – Vol. 15, No. 1. – P. 93-104. – DOI 10.21307/TP-2020-009. – EDN HVJMNJ.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. K vyboru pokazateley effektivnosti pri issledovanii i sovershenstvovanii sistemy tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta v sel'skom khozyaystve / N. V. Byshov, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [i dr.] // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 108. – S. 1058-1071. – EDN TROMIJ.

2. Increase of the resource of brake pads by using the driver's information device about wearing friction linings / I. A. Uspensky, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, No. 12. – P. 2320-2323. – EDN AHQETS.

3. Kokorev, G. D. Strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobil'nogo transporta / G. D. Kokorev, I. A. Uspenskiy, I. N. Nikolotov // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina". – 2009. – № 3(34). – S. 72-75. – EDN KZOGSB.

4. Innovatsionnoye ustroystvo dlya kontrolya iznashivaniya tormoznykh nakladok avtomobiley sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya / Ye. A. Rodionova, I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, V. A. Volchenkova // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2019. – № 7(265). – S. 30-34. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-7-30-34. – EDN KSHEMY.

5. Metody opredeleniya ratsional'noy periodichnosti kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya tormoznoy sistemy mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki / N. V. Byshov, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [i dr.] // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 86. – S. 300-311. – EDN TJAOJD.

6. Sorokin, I. A. Opredeleniye momenta okonchaniya polnoprogrammnykh i usechennykh ispytaniy na predel'noye tekhnicheskoye sostoyaniye dizel'nogo dvigatelya pri uskorennoy obkatke / I. A. Sorokin, Ye. A. Puchin // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2013. – № 10. – S. 38-41. – EDN REMCWR.

7. Povysheniye posleremontnoy bezotkaznosti agregatov traktorov / V. P. Lyalyakin, D. A. Gitel'man, R. YU. Solov'yev, A. K. Ol'khovatskiy // Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. – 2023. – № 6. – S. 36-42. – DOI 10.33920/sel-10-2306-04. – EDN ODUCUL.

8. Roshchin, D. V. Snizheniye pogreshnostey diagnostirovaniya sostavnykh chastei dvigatelya vnutrennego sgoraniya traktorov i samokhodnykh mashin / D. V. Roshchin, V. V. Yegorov, V. A. Chechet // Nauchno-prakticheskiye issledovaniya. – 2019. – № 5.1(20). – S. 42-46. – EDN ZVTZGS.

9. Kuznetsova, E. V. Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v polevykh usloviyakh / E. V. Kuznetsova, I. A. Yukhin, A. A. Gorokhov // Innovatsii i investitsii. – 2024. – № 12. – S. 395-400. – EDN CTRKUV.

10. Diagnostirovaniye rulevogo upravleniya i podveski avtomobiley v protsesse ekspluatatsii / A. A. Kartashov, N. V. Limarenko, I. A. Uspenskiy [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.

11. Theoretical analysis of chroming electrolytes and properties of chrome coatings / Y. A. Stekolnikov, S. D. Polischuk, D. G. Churilov [et al.] // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 836 KEM. – P. 142-150. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.836.142. – EDN JMFKFU.

12. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement / I. Danilov, A. Marusin, M. Mikhlik, I. Uspensky // Transport Problems. – 2020. – Vol. 15, No. 1. – P. 93-104. – DOI 10.21307/TP-2020-009. – EDN HVJMNJ.



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

Кузнецова Эмилия Васильевна, соискатель, ст. препод. кафедры технических дисциплин, Региональный институт бизнеса и управления, Dizel.diagram@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», yuival@rambler.ru

Горохов Александр Анатольевич, директор, АвтоПодбор «Golden key», sanyazanyat@gmail.com

Author Information

Kuznetsova Emilia V., Applicant, Senior Lecturer at the Department of Technical Disciplines, Regional Institute of Business and Management, Dizel.diagram@mail.ru

Uspensky Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Tractor Engineering and Thermal Power Engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yuival@rambler.ru

Gorokhov Alexander A., Director, Golden key Auto Assembly, sanyazanyat@gmail.com

Статья поступила в редакцию 04.02.2025; одобрена после рецензирования 05.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 04.02.2025; approved after reviewing 05.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №1, с. 143-150
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp. 143-150

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.356
DOI: 10.36508/RSATU.2025.72.56.020

ДИНАМИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНОГО ВСТРЯХИВАТЕЛЯ ЭЛЕВАТОРА НА КОМПОНЕНТЫ КАРТОФЕЛЬНОГО ВОРОХА

Любовь Олеговна Молоканова¹, Георгий Константинович Рембалович², Михаил Юрьевич Костенко³, Александр Владимирович Шемякин², Антон Алексеевич Желтоухов⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ pribylova98@inbox.ru

² university@rgatu.ru

³ kostenko.mihail2016@yandex.ru

⁴ university@rgatu.ru

⁵ superrazor101@gmail.com

Аннотация

Проблема и цель. Мировое картофелеводство наращивает объемы производства, эксперты оценивают рост на ближайшие годы валового сбора картофеля на 13-15 %. При уборке в неблагоприятных условиях возникают значительные повреждения клубней картофеля, что увеличивает потери при длительном хранении. Поэтому при уборке следует применять адаптивные рабочие органы картофелеуборочных машин. Под адаптивностью понимают высокую приспособляемость рабочих органов к изменению почвенно-климатических условий и физико-механическим свойствам картофеля. Цель исследования – повышение сепарации прутковых элеваторов и снижение повреждений клубней.

Методология. Картофелекопатель для проведения экспериментов был оборудован мотор-редукторами с эксцентриковыми роликами с обечайками, что позволяло менять их частоту вращения. Эксцентриковые ролики с обечайками установлены под полотно основного пруткового элеватора для изменения амплитуды и частоты подбрасываний полотна элеватора. Подбрасывание полотна элеватора позволяет динамически воздействовать на клубненосный пласт и осуществлять переориентацию компонентов картофельного вороха, что улучшает сепарацию почвы.

Результаты. Теоретическими исследованиями установлено, что величина проекций ударных усилий компонента картофельного вороха при одинаковом времени удара отличается в 2-3 раза. При этом наибольшие значения имеют усилия, направленные вдоль полотна элеватора. Для оценки динамического воздействия на компоненты клубненосного вороха использовали прибор с радиоклубнем «Tuber-Log». Применение активных встряхивателей – приводных эксцентриковых роликов – позволяет оперативно реагировать на изменение условий уборки, выбирая необходимые параметры и режимы сепарирующего элеватора, снижая повреждение клубней.

Заключение. Теоретическими исследованиями установлено, что траектория компонента картофельного вороха определяется вертикальной скоростью подбрасывания полотна на активном встряхивателе. При этом наибольшие значения имеют усилия, направленные вдоль полотна элеватора. Экспериментально установлено, что количество нагрузок при использовании приводных эксцентриковых роликов, вызывающих повреждения клубней ограничено единичными случаями, количество предельных нагрузок составляет около 16 %, остальные усилия не вызывают повреждения клубней.

Ключевые слова: прутковый элеватор, активный встряхиватель, эксцентриковый ролик, картофелеуборочная машина, уборка картофеля

Для цитирования: Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Шемякин А.В., Желтоухов А.А. Динамика воздействия активного встряхивателя элеватора на компоненты картофельного вороха // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.143-150 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.72.56.020>



Original article

DYNAMICS OF THE IMPACT OF AN ACTIVE ELEVATOR SHAKE ON THE COMPONENTS OF A POTATO HEAP

Lyubov O. Molokanova¹, Georgy K. Rembalovich², Mikhail Yu. Kostenko³✉, Alexander V. Shemyakin⁴, Anton A. Zheltoukhov⁵

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

¹ pribylova98@inbox.ru

² university@rgatu.ru

³ kostenko.mihail2016@yandex.ru

⁴ university@rgatu.ru

⁵ superrazor101@gmail.com

Abstract

Problem and purpose. World potato growing is increasing production volumes, experts estimate the growth of the gross potato harvest by 13-15% in the coming years. When harvesting in unfavorable conditions, significant damage to potato tubers occurs, which increases losses during long-term storage. Therefore, adaptive working bodies of potato harvesting machines should be used during harvesting. Adaptability is understood as high adaptability of working bodies to changes in soil and climatic conditions and physical and mechanical properties of potatoes. The goal is to increase the separation of rod elevators and reduce damage to tubers.

Methodology. The potato digger for conducting experiments was equipped with gear motors with eccentric rollers with shells, which made it possible to change their rotation frequency. Eccentric rollers with shells are installed under the main rod elevator web to change the amplitude and frequency of the elevator web tossing. Tossing the elevator web allows for a dynamic effect on the tuber layer and reorientation of the potato heap components, which improves soil separation.

Results. Theoretical studies have established that the magnitude of the projections of the impact forces of the potato component at the same impact time differs by 2-3 times. In this case, the greatest values have the forces directed along the elevator web. To assess the dynamic impact on the components of the tuber heap, a device with a radio tuber "Tuber-Log" was used. The use of active shakers - driven eccentric rollers allows you to quickly respond to changes in harvesting conditions, choosing the necessary parameters and modes of the separating elevator, reducing damage to tubers.

Conclusion. Theoretical studies have established that the trajectory of the potato heap component is determined by the vertical speed of throwing the web on the active shaker. In this case, the greatest values are the forces directed along the elevator web. It has been experimentally established that the number of loads when using driven eccentric rollers that cause damage to tubers is limited to isolated cases, the number of maximum loads is about 16%, the remaining forces do not cause damage to the tuber.

Key words: rod elevator, active shaker, eccentric roller, potato harvester, potato harvesting

For citation: Molokonova L.O., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V., Zheltoukhov A.A. Dynamics of the impact of an active elevator shake on the components of a potato heap // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P. 143-150 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.72.56.020>

Введение

Мировое картофелеводство наращивает объемы производства, эксперты оценивают рост на ближайшие годы валового сбора картофеля на 13-15 %. Россия занимает пятое место среди стран производителей картофеля (рис. 1). В то же время в 2024 году площади под картофель по сравнению с 2023 годом сократились на 33,9 тыс. га (10,8 %), также сократился и валовый сбор на 1,4 миллиона тонн (19,9 %;). Картофелеводческие хозяйства отмечают возрастающие колебания погодных условий, что затрудняет получение высоких урожаев, снижает качество урожая, в то же время в осенний период снижается стоимость картофеля [3]. В России потребление картофеля составляет около 7,2-7,9 млн тонн в год. Очевидно, что уве-

личение цен на картофель в 2024/2025 году будет способствовать увеличению площадей, также следует отметить, что урожайность за последние 10 лет выросла на 53,4 % [4].

При уборке в неблагоприятных условиях возникают значительные повреждения клубней картофеля, что увеличивает потери при длительном хранении [7,11,12,13]. Поэтому при уборке следует применять адаптивные рабочие органы картофелеуборочных машин. Под адаптивностью понимается высокая приспособляемость рабочих органов к изменению почвенно-климатических условий и физико-механическим свойствам картофеля [4,5,6,9]. Применение сепарирующих элеваторов с активными встряхивателями, выполненными в виде мотор-редукторов с эксцентриковыми роли-



ками и обечайками позволит обеспечить стабильную производительность и снижение повреждений клубней картофеля [10]. Цель исследования – по-

вышение сепарации прутковых элеваторов и снижение повреждений клубней.

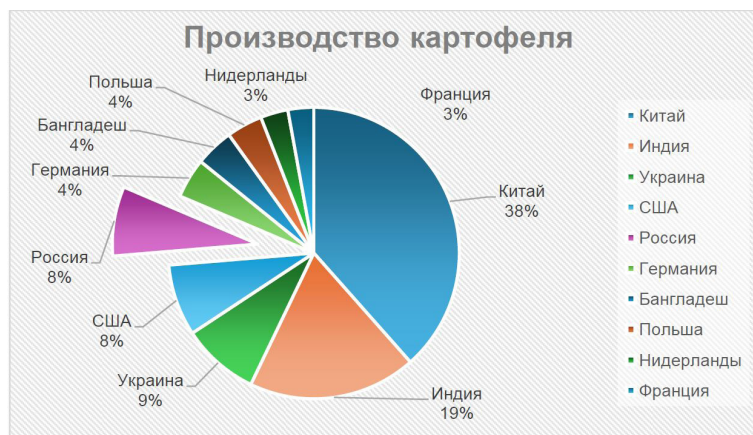


Рис. 1 – Производство картофеля в различных странах

Fig. 1 – Potato production in different countries

Материалы и методы исследования

Картофелекопатель для проведения экспериментов был оборудован мотор-редукторами с эксцентриковыми роликами с обечайками, что позволяло менять их частоту вращения (рис. 2). Эксцентриковые ролики с обечайками установлены под полотно основного пруткового элеватора для изменения амплитуды и частоты подбрасываний

полотна элеватора. Подбрасывание полотна элеватора позволяет динамически воздействовать на клубненосный пласт и осуществлять переориентацию компонентов картофельного вороха, что улучшает сепарацию почвы [2,7,14,15]. Привод рабочих органов картофелекопателя осуществляли с помощью трактора.



Рис. 2 – Общий вид картофелекопателя для проведения экспериментов с активными встряхивателями

Fig. 2 – General view of the Potato digger for conducting experiments with active shakers

При исследовании кинематики компонентов картофельного вороха было установлено, что величина абсолютной скорости компонента составляет $V_k = \sqrt{1^2 + 2,1^2} = 2,33 \text{ м/с}$ [10]. Для определения направления абсолютной скорости компонента используем выражение для направляющих косинусов:

$$\cos \beta = \frac{V_3}{\sqrt{V_B^2 + V_3^2}} \quad (1)$$

где V_3 – скорость пруткового элеватора, м/с;

V_B – скорость компонента вдоль оси ОУ, м/с.

Изучим траекторию движения компонента картофельного вороха после отрыва от полотна, записав закон его движения в дифференциальной форме (рис. 3):

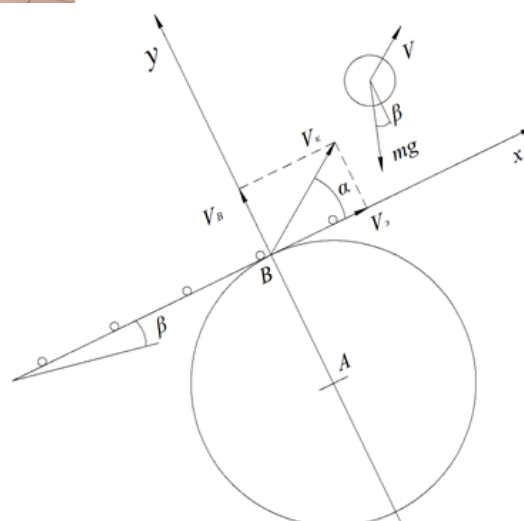


Рис. 3 – Схема к расчету траектории полета компонента картофельного вороха

Fig. 3 – Scheme for calculating the flight trajectory of a potato heap component



$$\begin{cases} m_k \frac{d^2x}{dt^2} = -m_k g \cos(\beta) \\ m_k \frac{d^2y}{dt^2} = -m_k g \sin(\beta) \end{cases} \quad (2)$$

где α – угол наклона элеватора, град;

β – угол направления абсолютной скорости компонента относительно полотна элеватора, град;

m_k – масса компонента картофельного вороха, кг.

Так как скорость полета компонента невелика, сопротивление воздуха не учитываем. Преобразовав выражение (2), проинтегрируем с учетом начальных параметров движения при $t_0=0$; $x_0=0$; $y_0=0$; $\vartheta_{x0}=V_3$; $\vartheta_{y0}=V_B$, получим

$$\begin{cases} \vartheta x - V_3 = -gt \cos(\beta) \\ \vartheta y - V_B = -gt \sin(\beta) \end{cases} \quad (3)$$

Преобразовав выражение (3), проинтегрируем

$$\begin{cases} x = -\frac{gt^2}{2} \cos(\beta) + V_3 t \\ y = -\frac{gt^2}{2} \sin(\beta) + V_B t \end{cases} \quad (4)$$

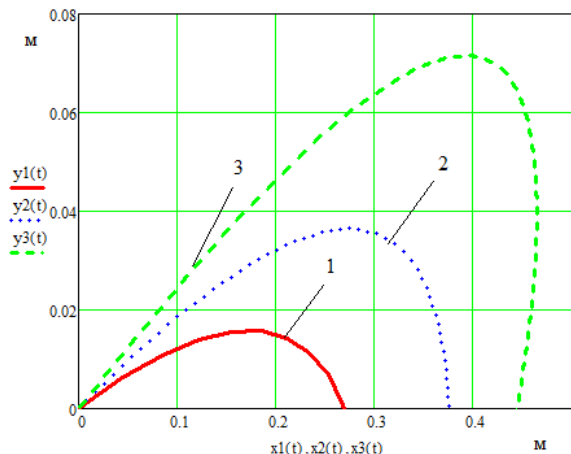
Время полета компонента картофельного вороха можно определить из выражения (4), приравняв координату $y=0$, тогда получим

$$t = \frac{2 \cdot V_B}{g \cdot \sin(\beta)} \quad (5)$$

где V_B – скорость компонента вдоль оси ОУ, м/с.

Результаты и их обсуждение

В программе MathCAD по выражению (4) построим траекторию полета компонента картофельного вороха (рис. 4).



1 – величина начальной скорости $V_k=2,33$ м/с ;

2 – величина начальной скорости $V_k=2,66$ м/с ;

3 – величина начальной скорости $V_k=2,99$ м/с

Рис. 4 – Траектория полета компонента картофельного вороха в зависимости от значения и направления начальной скорости

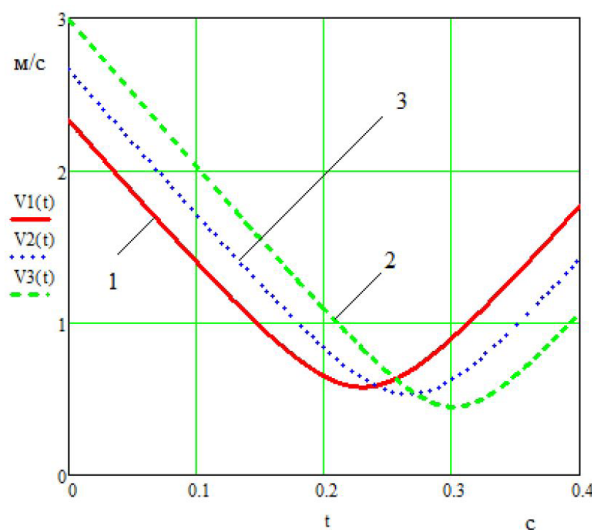
1 – initial velocity value $V_k=2.33$ m/s; 2 – initial velocity value $V_k=2.66$ m/s; 3 – initial velocity value $V_k=2.99$ m/s

Fig. 4 – Flight trajectory of a potato heap component depending on the value and direction of the initial velocity

Анализ рисунка показал, что траектория компонента картофельного вороха определяется его начальной скоростью – вертикальной скоростью подбрасывания полотна на активном встряхивателе, так как скорость элеватора не меняется. Так как оси координат расположены под углом β к горизонту вдоль полотна элеватора, то участок падения компонента картофельного вороха короче, чем участок подъема, поэтому начальная скорость будет выше скорости падения. Рассчитаем величину абсолютной скорости полета компонента картофельного вороха

$$V_k = \sqrt{\vartheta x^2 + \vartheta y^2} \quad (6)$$

В программе MathCAD по выражению (6) построим график изменения абсолютной скорости полета компонента картофельного вороха (рис. 5).



1 – величина начальной скорости $V_k=2,33$ м/с ;

2 – величина начальной скорости $V_k=2,66$ м/с ;

3 – величина начальной скорости $V_k=2,99$ м/с

Рис. 5 – Абсолютная скорость полета компонента картофельного вороха в зависимости от величины начальной скорости

1 – initial velocity value $V_k=2.33$ m/s; 2 – initial velocity value $V_k=2.66$ m/s; 3 – initial velocity value $V_k=2.99$ m/s

Fig. 5 – Absolute flight speed of a potato heap component depending on the initial velocity value

Анализ рисунка показал, что абсолютная скорости в процессе полета компонента картофельного вороха вначале снижается, а затем несколько возрастает при падении компонента. Однако величина скорости компонента в начале полета (2,33-3,0 м/с) существенно выше скорости падения (0,9-1,5 м/с), поэтому величину ударного импульса (повреждения клубня) следует оценивать не только по скорости падения, но и по скорости подбрасывания.

Так как увеличение ускорения на активном встряхивателе (эксцентриковом ролике) происходит постепенно, то величину ускорения вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора можно вычис-



лить, исходя из параметров эксцентрикового ролика, она составляет около 15-20 м/с² [10].

Величина ударного импульса определится из выражений:

$$\begin{cases} m(\vartheta x - (\vartheta x_1 + V_3)) = S_x \\ m(\vartheta y - \vartheta y_1) = S_y \end{cases} \quad (7)$$

где: S – ударный импульс компонента;

m – масса компонента;

ϑx – скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси OX;

ϑy – скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси OY;

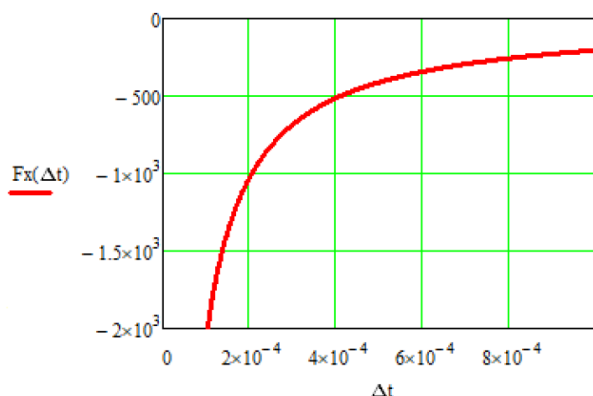
V_3 – скорость движения элеватора;

ϑx_1 – скорость после удара компонента об элеватор вдоль оси OX;

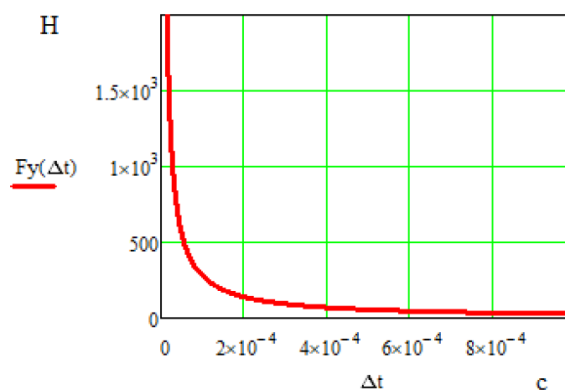
ϑy_1 – скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси OY.

При этом скорости компонента после удара определяются коэффициентом восстановления. Приняв, что величина коэффициента восстановления компонента при соударении с элеватором будет одинакова вдоль обеих осей, запишем

$$\begin{cases} m \cdot \vartheta x(1 + k) - mV_3 = S_x \\ m \cdot \vartheta y(1 + k) = S_y \end{cases} \quad (8)$$



а



б

а – изменение ударного усилия вдоль полотна элеватора; б – изменение ударного усилия перпендикулярно полотну элеватора

Рис. 6 – Зависимость величины ударных усилий компонента картофельного времени удара

а – change in impact force along the elevator web; б – change in impact force perpendicular to the elevator web

Fig. 6 – Dependence of the magnitude of impact forces of the potato impact time component

Анализ рисунка 6 показал, что величина проекций ударных усилий компонента картофельного вороха при одинаковом времени удара отличается в 2-3 раза. При этом наибольшие значения имеют усилия, направленные вдоль полотна элеватора. Поэтому для снижения повреждений на сепарирующем элеваторе не следует увеличивать величину подскока клубней, что приводит к снижению скорости вдоль элеватора, а также снижать величину коэффициента восстановления за счет прослойки почвы или установки трубок гасителей удара на прутки [7, 16].

Для оценки динамического воздействия на

где k – коэффициент восстановления компонента при ударе об элеватор, $(k = -\frac{\vartheta y_1}{\vartheta y})$.

Таким образом, можно заметить, что величина ударного импульса вдоль оси OX в значительной мере будет определяться скоростью движения элеватора. Используя теорему об изменении количества движения, запишем

$$\begin{cases} m \cdot \vartheta x(1 + k) - m \cdot V_3 = F_x \cdot \Delta t \\ m \cdot \vartheta y(1 + k) = F_y \cdot \Delta t \end{cases} \quad (9)$$

Выразим проекции ударных усилий компонента картофельного вороха из выражения (8)

$$\begin{cases} F_x = \frac{m \cdot \vartheta x(1 + k) - m \cdot V_3}{\Delta t} \\ F_y = \frac{m \cdot \vartheta y(1 + k)}{\Delta t} \end{cases} \quad (10)$$

Рассчитаем в программе MathCAD величину проекции ударных усилий компонента картофельного вороха, исходя из следующих параметров: m=0,1 кг; $V_3=2,1$ м/с; k=-0,6; $\vartheta x=0,5$ м/с; $\vartheta y=0,9$ м/с

компоненты клубненоносного вороха использовали прибор с радиоклубнем «Tuber-Log». Радиоклубень «Tuber-Log» бросали на движущееся полотно элеватора и при его прохождении по рабочим органам картофелекопателя снимали показания (рис. 7).

Затем при расшифровке показаний прибора с радиоклубнем «Tuber-Log» оценивали величину динамического воздействия активного встряхивателя. Полученные показания расшифровывали на планшете устройства (рис. 8).

Анализ показаний прибора с радиоклубнем «Tuber-Log» (рис. 8) показал, что количество

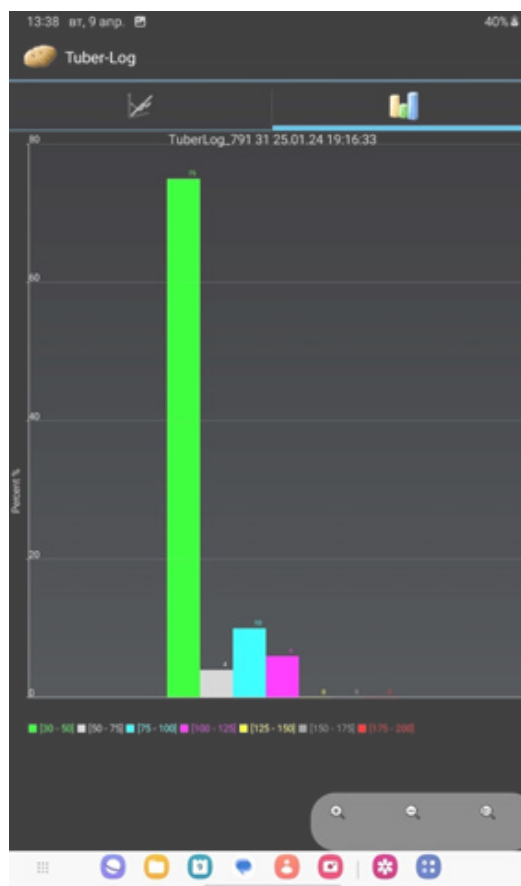
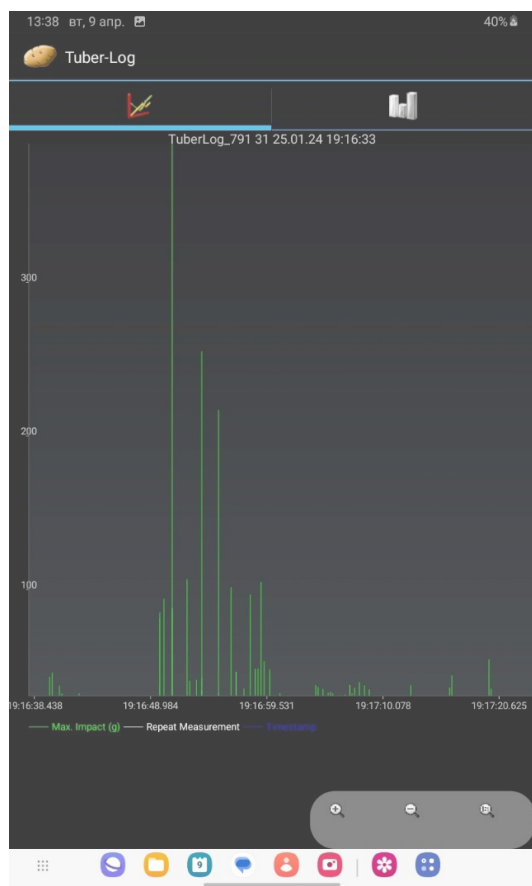


нагрузок, вызывающих повреждения клубней, ограничено единичными случаями, количество предельных нагрузок составляет около 16 %, остальные усилия не вызывают повреждения клубней. Таким образом, применение активных

встряхивателей – приводных эксцентриковых роликов – позволяет оперативно реагировать на изменение условий уборки, выбирая необходимые параметры и режимы сепарирующего элеватора, не выходя из кабины трактора.



Рис. 7 – Полет радиоклубня «Tuber-Log» при исследовании динамического воздействия активного встряхивателя
Fig. 7 – Flight of the Tuber-Log radio tube during the study of the dynamic impact of an active shaker



а – величины ударных нагрузок радиоклубня «Tuber-Log», б – гистограмма частот распределения ударных нагрузок

Рис. 8 – Общий вид интерфейса прибора с радиоклубнем «Tuber-Log»

a – the values of the shock loads of the radio tuber "Tuber-Log", b – histogram of the frequencies of the distribution of shock loads

Fig. 8 – General view of the interface of the device with the radio tuber "Tuber-Log"

Заклучение

Теоретическими исследованиями установлено, что траектория компонента картофельного вороха определяется вертикальной скоростью подбрасывания полотна на активной встряхивателе. Величина скорости компонента в начале полета

(2,33-3,0 м/с) существенно выше скорости падения (0,9-1,5 м/с). Величина проекций ударных усилий компонента картофельного вороха при одинаковом времени удара отличается в 2-3 раза. При этом наибольшие значения имеют усилия, направленные вдоль полотна элеватора. Эксперимен-



тально установлено, что количество нагрузок при использовании приводных эксцентриковых роликов, вызывающих повреждения клубней, ограничено единичными случаями, количество предельных нагрузок составляет около 16 %, остальные усилия не вызывают повреждения клубней.

Список источников

1. Бышов, Н.В. Перспективы картофелеводства в рязанском АПК [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, Г.К. Рембалович, А.А. Желтоухов // Статья в журнале: Сельский механизатор. – Москва, 2018. – №2 – С. 17-18.

2. Горячкина, И. Н. Совершенствование технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующего элеватора с интенсификатором активного типа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Горячкина Ирина Николаевна; [Место защиты: Рязан. гос. с.-х. акад. им. П.А. Костычева]. – Рязань, 2010. – 212 с. : ил.

3. Жевора, С.В. Приоритетные направления инновационного развития картофелеводства [Текст] / С.В. Жевора, Б.В. Анисимов, Е.А. Симаков, Е.В. Овэс, В.И. Старовойтов // Селекция и семеноводство картофеля. – Чебоксары, 2020. С. 20–25.

4. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 [Текст] / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв // Тракторы и сельхозмашины. 2020. – №6. – С. 28-40.

5. Колчин, Н. Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях [Текст] / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002. – EDN VWFZSW.

6. Колчин, Н. Н. Новая техника для картофелеводства [Текст] / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006. – EDN WRHNAE.

7. Костенко, М.Ю. Технология уборки картофеля в тяжелых полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Михаил Юрьевич Костенко. – Рязань, 2011. – 462 с.

8. Лапин, Д.А. Теоретические исследования траекторий движения компонентов картофельного вороха на прутковом элеваторе уборочной маши-

ны при работе дисковых интенсификаторов [Текст] / Д.А. Лапин, Д.А. Волченков, И.И. Гришин, Б.А. Нефедов. // Международный научный журнал. – 2017. – №6. – С. 107 – 112.

9. Лачуга, Ю.Ф. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции [Текст] / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Ю.Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. 2018. №7. С. 2-7.

10. Молоканова, Л.О. Кинематический анализ активного встряхивателя элеватора в виде эксцентрикового ролика [Текст] / Молоканова Л.О., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Бoryчев С.Н., Юмаев Д.М. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2024, Т.16, №4, С.115-121 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.49.99.017>.

11. Пшеченков, К.А. Технология выращивания и уборки картофеля в центральном регионе России [Текст] / К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.В. Мальцев // Картофельводство. – 2017. – С. 48-59.

12. Пшеченков, К.А. Технология комбайновой уборки картофеля на суглинистых почвах в центральном регионе России [Текст] / К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов // Картофель и овощи-2018-№4.-С. 19-21.

13. Пшеченков, К.А. Уборка картофеля [Текст] / К.А. Пшеченков, Г.Л. Белов, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов // Земледелие -2018-№5.-С. 23-26.

14. Рембалович, Г.К. Совершенствование первичной сепарации в картофелеуборочных машинах [Текст] / Г.К. Рембалович, Н.А. Рязанов, И.А. Успенский - Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011, №10. - С. 5- 6.

15. Рязанов, Н. А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Рязанов Николай Анатольевич; [Место защиты: Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П.А. Костычева]. – Рязань, 2012. – 164 с. : ил.

16. Успенский, И.А. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // Статья в журнале: Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград, 2018. – № 49 – С. 262-269.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Byshov, N.V. Perspektivy kartofelevodstva v ryzanskom APK [Tekst] / N.V. Byshov, S.N. Borychev, G.K. Rembalovich, A.A. Zheltouhov // Stat'ya v zhurnale: Sel'skiy mekhanizator. – Moskva, 2018. – №2 – S. 17-18.
2. Goryachkina, I. N. Sovershenstvovanie tekhnologii uborki kartofelya s obosnovaniem parametrov i rezhimov raboty separiruyushchego elevatora s intensifikatorom aktivnogo tipa : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.20.01 / Goryachkina Irina Nikolaevna; [Mesto zashchity: Ryazan. gos. s.-h. akad. im. P.A. Kostycheva]. – Ryazan', 2010. – 212 s. : il.
3. Zhevara, S.V. Prioritetnye napravleniya innovacionnogo razvitiya kartofelevodstva [Tekst] / S.V. Zhevara, B.V. Anisimov, E.A. Simakov, E.V. Oves, V.I. Starovojtov // Selekcija i semenovodstvo kartofelya. – Cheboksary, 2020. S. 20–25.
4. Izmajlov, A. Yu. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo hozyajstva - tendencii vystavki AGRITECHNIKA 2019 [Tekst] / A. Yu. Izmajlov, Ya. P. Lobachevskij, A. S. Dorohov, A. V. Sibiryov // Traktory i sel'hozmashiny. 2020. – №6. – S. 28-40.
5. Kolchin, N. N. Kak snizit' povrezhdenie klubnej v mashinnyh tekhnologiyah [Tekst] / N. N. Kolchin, A. G. Ponomarev,



- S. N. Petuhov // *Kartofel' i ovoshchi*. – 2019. – № 3. – S. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002. – EDN VWFZSW.
6. Kolchin, N. N. Novaya tekhnika dlya kartofeleводства [Tekst] / N. N. Kolchin, A. G. Ponomarev, V. N. Zernov // *Kartofel' i ovoshchi*. – 2019. – № 6. – S. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006. – EDN WRHHAЕ.
7. Kostenko, M. Yu. Tekhnologiya uborki kartofelya v tyazhelykh polevykh usloviyakh s primeneniem innovatsionnykh reshenij v konstrukcii i obsluzhivanii uborochnykh mashin: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01 / Mihail Yur'evich Kostenko. – Ryazan', 2011. – 462 s.
8. Lapin, D.A. Teoreticheskie issledovaniya traektorij dvizheniya komponentov kartofel'nogo voroha na prutkovom elevatore uborochnoy mashiny pri rabote diskovykh intensivifikatorov [Tekst] / D.A. Lapin, D.A. Volchenkov, I.I. Grishin, B.A. Nefedov. // *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*. – 2017. – №6. – S. 107 – 112.
9. Lachuga, Yu.F. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i cifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skohozyajstvennoy produkcii [Tekst] / Yu.F. Lachuga, A.Yu. Izmajlov, Ya.P. Lobachevskij, Yu.H. Shogonov // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. №7. S. 2-7.
10. Molokanova, L.O. Kinematicheskij analiz aktivnogo vstryahivatelya elevatora v vide ekscentrikovogo rolika [Tekst] / Molokanova L.O., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Borychev S.N., Yumaev D.M. // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2024, T.16, №4, S.115-121 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2024.49.99.017>.
11. Pshechenkov, K.A. Tekhnologiya vyrashchivaniya i uborki kartofelya v central'nom regione Rossii [Tekst] / K.A. Pshechenkov, V.N. Zejruk, S.V. Mal'cev // *Kartofeleводство*. – 2017. – S. 48-59.
12. Pshechenkov, K.A. Tekhnologiya kombainovoy uborki kartofelya na suglinistyykh pochvakh v central'nom regione Rossii [Tekst] / K.A. Pshechenkov, S.V. Mal'cev, A.V. Smirnov // *Kartofel' i ovoshchi*-2018-№4.-S. 19-21.
13. Pshechenkov, K.A. Uborka kartofelya [Tekst] / K.A. Pshechenkov, G.L. Belov, S.V. Mal'cev, A.V. Smirnov // *Zemledelie* -2018-№5.-S. 23-26.
14. Rembalovich, G.K. Sovershenstvovanie pervichnoy separacii v kartofeleuborochnykh mashinakh [Tekst] / G.K. Rembalovich, N.A. Ryazanov, I.A. Uspenskij - Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva. 2011, №10. - S. 5- 6.
15. Ryazanov, N. A. Usovershenstvovannyj tekhnologicheskij process i intensivifikator osnovnogo elevatora kartofeleuborochnykh mashin : dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.20.01 / Ryazanov Nikolaj Anatol'evich; [Mesto zashchity: Ryazan. gos. agrotekhnolog. un-t im. P.A. Kostycheva]. - Ryazan', 2012. - 164 s. : il.
16. Uspenskij, I.A. Ocenka perspektivnoy tekhnologicheskoy skhemy kartofeleuborochnogo kombajna [Tekst] / I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich, M.Yu. Kostenko, R.V. Beznosyuk // *Stat'ya v zhurnale: Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. – Volgograd, 2018. – № 49 – S. 262-269.

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

Молоканова Любовь Олеговна, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», pribylova98@inbox.ru

Рембалович Георгий Константинович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Костенко Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kostenko.mihail2016@yandex.ru

Шемякин Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Желтоухов Антон Алексеевич, ассистент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», superrazor101@gmail.com

Author Information

Molokanova Lyubov O., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev, pribylova98@inbox.ru

Rembalovich Georgy K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Kostenko Mikhail Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Shemyakin Alexander V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Zheltoukhov Anton A., Assistant of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev, superrazor101@gmail.com

Статья поступила в редакцию 14.01.2025; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 28.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



Вестник РГТУ, 2025, т.17, №1, с. 151-163
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №1, pp.151-163

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.166.094.3
DOI: 10.36508/RSATU.2025.67.26.021

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ)**

Адик Викторovich Онкаев¹ ✉, Иван Алексеевич Успенский², Николай Владимирович Лимаренко³, Иван Александрович Юхин⁴, Игорь Викторovich Пчельников⁵

^{1,5} ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

^{2,3,4} ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

³ ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

¹ onkaev.adik08@yandex.ru

² ivan.uspensij@yandex.ru

⁴ yuival@rambler.ru

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза»

Аннотация.

Проблема и цель. Хлорсодержащие растворы широко применяются для различных нужд сельского хозяйства, в том числе для обеззараживания воды. Наибольшее среди них распространение получил гипохлорит натрия (ГХН). Отечественная химическая промышленность выпускает ГХН с высокой концентрацией активного хлора до 190 г/дм³. Доставка, хранение и распределение этого реагента требует соблюдения правил безопасности, выполнение которых на территории Республики Калмыкия является достаточно сложной и дорогостоящей задачей из-за необходимости применения специального емкостного оборудования, систем контроля и автоматизации технологического процесса. К этому следует также отнести отсутствие квалифицированного персонала, удаленность друг от друга городов, поселков, фермерских хозяйств и неразвитую дорожную инфраструктуру. Предлагается производить низкоконцентрированный (не более 10 г/дм³) ГХН на месте потребления, используя в качестве сырья местные минеральные ресурсы (природные подземные или поверхностные высокоминерализованные хлоридсодержащие растворы). Такой раствор ГХН является практически безопасным и не требует особых условий при использовании. Его можно получить электролизом указанных растворов, превращая хлорид-ионы в активный хлор. При этом необходимо решить проблему образования осадка на катоде путем выбора и обоснования методов его устранения и максимально повысить выход товарного продукта. Также важной задачей является уровень управления (ручной или автоматический). Область применения ГХН возможно расширить, а эффективность усилить, если в готовый продукт добавить корректирующие и активирующие вещества в виде соли меди и борной кислоты. В связи с этим на базе опубликованных ранее научных результатов авторами настоящей статьи предложены основы реализации этой задачи путем выбора и обоснования технологий, которые будут соответствовать экологическим требованиям и быть экономически целесообразными. Эта задача остается актуальной и не решенной до сих пор. Цель исследования – провести анализ существующих способов производства ГХН и сформулировать показатели эффективности их использования в сельском хозяйстве на примере Республики Калмыкия.

Методология. Применение в сельском хозяйстве привозного высококонцентрированного ГХН (производится на предприятиях химической промышленности) весьма затруднено не только из-за высокой токсичности, но и необходимости разбавлять исходный продукт большим количеством пресной



воды, дефицит которой ощущается практически по всей территории Калмыкии. Поэтому альтернативой такому реагенту является низкоконцентрированный ГХН, который можно получать из местного природного раствора, содержащего хлорид-ионы, а не из искусственного рассола, приготовленного путем растворения поваренной соли в воде. Целесообразность коммерческого производства ГХН из природных растворов зависит не только от концентрации хлорид-ионов, но и общего минерального состава, которые существенно влияют на режим электролиза, что проявляется в виде нерастворимых солей, непрерывно накапливающихся на катоде электролизера. Для решения данной проблемы необходимо использовать специальный режим электролиза, применяемый в других областях прикладной электрохимии, и использовать его в реальном процессе. Кроме того, микродобавки ионов меди и бора усилят обеззараживающий эффект ГХН.

Результаты. На основании данных об использовании в сельском хозяйстве дезинфектанта – хлорсодержащего продукта установлено, что этот реагент поставляется потребителю в виде высококонцентрированного токсичного раствора гипохлорита натрия. Перед употреблением его необходимо разбавить водой до безопасной для окружающей среды концентрации. Кроме того, для ряда пользователей этот дезинфектант неприемлем из-за высокого значения pH. В данной работе предлагается производить этот раствор с низкой концентрацией ГХН и нейтральным pH, который безопасен и может использоваться без ограничений для нужд аграриев. Это может быть достигнуто путем электролиза природных высокоминерализованных поверхностных или подземных вод по специальному способу на месте потребления.

Заключение. В работе показана потребность хлорсодержащего вещества на основе раствора гипохлорита натрия для нужд сельского хозяйства Калмыкии при обеспечении санитарной безопасности продукции животноводства и зерноводства. Предложены способы производства указанного продукта из природных минерализованных вод Калмыкии, что позволяет отказаться от привозного высокотоксичного ГХН заводского производства.

Ключевые слова: дезинфекция, электролиз природной воды, производство гипохлорита натрия, катодные осадки, переменный ток, борная кислота, медный купорос

Для цитирования: Онкаев А.В., Успенский И.А., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Пчельников И.В. Анализ способов производства гипохлорита натрия сельскохозяйственного назначения (на примере Республики Калмыкия) // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.151-163 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.26.021>

Original article

ANALYSIS OF METHODS OF PRODUCTION OF SODIUM HYPOCHLORITE FOR AGRICULTURAL PURPOSES (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF KALMYKIA)

Adik V. Onkaev¹✉, Ivan A. Uspensky², Nikolai V. Limarenko³, Ivan A. Ukhin⁴, Igor V. Pcheltnikov⁵

^{1,5} Southern State Pedagogical University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia

^{2,3,4} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

³ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

¹ onkaev.adik08@yandex.ru

² ivan.uspensij@yandex.ru

⁴ yuival@rambler.ru

The study was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on the topic: "Development of a digital platform for increasing energy efficiency in the disinfection of bedding-free manure."

Abstract

Problem and purpose. Chlorine-containing solutions are widely used for various agricultural needs, including water disinfection. Sodium hypochlorite (HCN) has become the most widespread among them. The domestic chemical industry produces HCN with a high concentration of active chlorine up to 190 g/dm³. The delivery, storage and distribution of this reagent requires compliance with safety rules, the implementation of which on the territory of the Republic of Kalmykia is a rather difficult and expensive task due to the need to use special capacitive equipment, control systems and automation of the technological process. This should also include the lack of qualified personnel, the remoteness of cities, towns, farms and undeveloped road infrastructure from each other. It is proposed to produce low-concentrated (no more than 10 g/dm³) HCN at the place of consumption, using local mineral resources (natural underground or surface highly mineralized chloride-containing solutions). Such a HCN solution is practically safe and does not require special conditions when used. It can be obtained by electrolysis of these solutions, converting chloride ions into active chlorine. The scope of application of HCN can be expanded and its effectiveness enhanced if corrective and activating substances are added to the finished product as salts of copper and boric acid. In this regard, on the basis of



previously published scientific results, the authors of this article propose the basis for the implementation of this task by selecting and justifying technologies that will meet environmental requirements and be economically feasible. This task remains relevant and unresolved to this day.

Methodology. The use of imported highly concentrated HCN in agriculture (produced at chemical industry enterprises) is very difficult not only because of the high toxicity, but also the need to dilute the initial product with a large amount of fresh water, the shortage of which is felt almost throughout the territory of Kalmykia. Therefore, an alternative to such a reagent is low-concentrated HCN, which can be obtained from a local natural solution containing chloride ions, rather than from an artificial brine prepared by dissolving table salt in water. The feasibility of commercial production of HCN from natural solutions depends not only on the concentration of chloride ions, but also on the total mineral composition, which significantly affects the electrolysis regime, which manifests itself in the form of insoluble salts continuously accumulating at the cathode of the electrolyzer. To solve this problem, it is necessary to use a special electrolysis mode used in other fields of applied electrochemistry, and apply it in a real process. In addition, microadditives of copper and boron ions will enhance the disinfecting effect of HCN.

Results. Based on data on the use of a disinfectant in agriculture, a chlorine-containing product, it was found that this reagent is supplied to the consumer in the form of a highly concentrated toxic solution of sodium hypochlorite. Before use, it must be diluted with water to an environmentally safe concentration. In addition, this disinfectant is unacceptable for a number of users due to the high pH value. The paper proposes to produce this solution with a low concentration of HCN and a neutral pH, which is safe and can be used without restrictions for the needs of farmers. This can be achieved by electrolysis of natural highly mineralized surface or groundwater using a special technology at the place of consumption.

Conclusion. The paper shows the need for a chlorine-containing substance based on a solution of sodium hypochlorite for the needs of agriculture in Kalmykia to ensure the sanitary safety of livestock and grain products. Technologies for the production of this product from the natural mineralized waters of Kalmykia are proposed, which makes it possible to abandon imported highly toxic HCN of factory production.

Key words: disinfection, electrolysis of natural water, production of sodium hypochlorite, cathodic precipitation, alternating current, boric acid, copper sulfate

For citation: Onkaev A.V., Uspensky I.A., Limarenko N.V., Yukhin I.A., Pchelnikov I.V. Analysis of methods of production of sodium hypochlorite for agricultural purposes (on the example of the Republic of Kalmykia) // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 1, P. 151-163 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.26.021>

Введение

Развитие агропромышленного комплекса РФ в последние годы связано с расширением производства продукции животноводства и птицеводства, зерновых культур, чему способствовали мероприятия господдержки, внедрение отечественного технологического оборудования взамен дорогостоящего импортного. В свою очередь, рост продовольственного сырья потребовал усиления мер по обеспечению санитарной безопасности продукции животного происхождения и кормов не только на этапе их производства, но и хранения. Кроме того, расширение числа фермерских хозяйств обозначило не менее важную проблему – обеспечение доброкачественной питьевой водой как населения, так и животноводческих хозяйств. Решением указанных задач является использование хлорсодержащих веществ на основе раствора электролизного гипохлорита натрия (ГХН) [1]. Этому продукту свойственна высокая бактерицидная эффективность с широким спектром применения, что обеспечивает не только экономическую устойчивость фермерских хозяйств, но и высокий уровень экологической безопасности.

На селе ГХН широко используется в ветеринарии для:

- лечебно-профилактических действий при заболеваниях пищеварительного тракта свиней, птицы, крупного рогатого скота [2];
- дезинфекции животноводческих и птицеводческих помещений [3];

– лечения гнойных ран и продления срока хранения мяса [4];

– обеззараживания рук хирурга и инструмента, лабораторной посуды [5];

– обеззараживания воды для поения животных и птиц [6].

Препараты на основе ГХН также необходимы в аграрном секторе нашей страны для целей:

– обеззараживания питьевой воды и воды плавательных бассейнов [7];

– дезинфекции общественных помещений, медицинских учреждений, предприятий пищевой промышленности [8].

К тому же, растворы на основе ГХН в комбинации с микродобавками, например, меди, цинка, бора, кремния и др. дают синергетический эффект при использовании бактериальных и противовоспалительных препаратов [9].

Применительно для аграрного сектора Республики Калмыкия ГХН является важным продуктом многофункционального и многоцелевого применения, особенно с учетом расположения его в аридной зоне на полупустынной равнине. При этом необходимо учитывать проблему обеспечения дезинфектантом территории Республики с численностью 264,5 тысяч человек и плотностью 3,54 чел./км², удаленностью друг от друга городов, поселков, фермерских хозяйств и неразвитую дорожную инфраструктуру. К этому следует также отнести отсутствие квалифицированного персонала, недостаточное финансирование на поддержание инже-



нерных сетей и технологического оборудования.

Особенно ГХН является крайне востребованным для обеззараживания питьевой воды ввиду отсутствия доброкачественных пресных ее источников (имеется ввиду подземных). В Калмыкии до сих пор в большинстве районов используется привозная вода, объем которой достигает 30 тыс. м³/сут [10]. Очевидно, перед транспортировкой и употреблением такой воды необходимо подвергнуть ее обязательной технологической операции – обеззараживанию. В этом случае ГХН является необходимым и достаточным реагентом для достижения поставленной задачи.

Однако, чтобы все вышеперечисленное реализовать, необходимо иметь не только достаточно надежный и доступный источник поставки дезинфектанта, но и необременительный с точки зрения экономических затрат.

Цель исследования – провести анализ суще-

ствующих способов производства ГХН и сформулировать показатели эффективности их использования в сельском хозяйстве на примере Республики Калмыкия.

Остановимся подробно на промышленных способах производства ГХН, его физико-химических свойствах.

Гипохлорит натрия может быть получен двумя способами: хлорированием натриевой щелочи или электролизом водного раствора поваренной соли в ванне без разделения анодного и катодного пространств [11]. Главным действующим веществом продукта является активный хлор – мощное дезинфицирующее средство с высоким окислительным потенциалом, что определяет его широкое использование в различных сферах хозяйственной деятельности.

В таблице 1 приведены основные показатели растворов ГХН, производимых в России.

Таблица 1 – Основные показатели растворов гипохлорита натрия, производимых в России [11]

Наименование показателя	ГОСТ 11086 - 76		Характеристика марок ГХН				
	А	Б	А	Б	В	Г	Э
Внешний вид	жидкость зеленовато-желтого цвета		жидкость зеленовато-желтого цвета				бесцветная жидкость
Массовая концентрация активного хлора, г/дм ³	190	170	120	120	190	12	7
Массовая концентрация щелочи в пересчете, г/дм ³	10-20	40-60	40	90	10-20	20-40	1
рН, единиц	12						8,5

По первому способу химическая промышленность (заводы «Каустик») выпускает ряд марок ГХН, но наиболее массовый выпуск приходится с концентрацией активного хлора 170-190 г/дм³, который получил название «Гипохлорит натрия марки А ГОСТ 11086-76» – высококонцентрированный гипохлорит натрия (ВГХН).

По второму способу ГХН образуется с максимальной концентрацией активного хлора не более 7-8 г/дм³ – низкоконтрированный гипохлорит натрия (НГХН), который можно получать на месте потребления из природных минерализованных хлоридных вод [12].

Как следует из таблицы 1, раствор ВГХН представляет собой смесь гипохлорита натрия (NaClO) и каустической щелочи (NaOH-) и, как следствие, имеет высокое значение рН (12 единиц). Низкоконтрированный раствор характеризуется невысоким значением щелочности, поэтому рН такого раствора, как правило, не превышает 8,5 единиц.

Привлекательной стороной использования ГХН является его окислительная способность, которая оценивается окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП). Величина ОВП определяется значением рН раствора ГХН. Так, в кислой среде он присутствует в форме HClO, в нейтральной – в виде смеси HClO и NaClO, а в щелочной – как NaClO. Согласно стандартным ОВП [13]

значение окислительного потенциала в кислой среде – (+1,64 В), в нейтральной и щелочной – (+0,84-0,89 В). Следовательно, наибольшая эффективность использования ГХН как окислителя, дезинфектанта, пестицида, фунгицида может быть достигнута, если раствор будет нейтральным, что безопасно для растений и животных, а не щелочным [14]. Этим показателям соответствует НГХН.

Чтобы ответить на вопрос, какой из известных дезинфектантов на базе ГХН безопаснее, технологичнее, менее затратен для потребителя, оценим опыт практического применения этого продукта.

Для этого предлагается предусмотреть наличие на территории Республики так называемых «сотов», внутри которых будет размещаться привозной ВГХН или установки по производству НГХН за счет использования природных хлоридсодержащих вод в качестве сырья [12]. Эти «соты» должны перекрывать друг друга так, чтобы обеспечить потребителю удобный доступ к дезинфектанту. В составе «сотов», кроме наличия ГХН или установок для его производства, необходимо иметь распределительный терминал, ремонтный участок для обслуживания емкостного, насосного, электротехнического оборудования, транспортный участок доставки сырья, химическая лаборатория.

По нашим расчетам, в Калмыкии ежедневно



должно быть завезено ГХН в эквиваленте активного хлора или произведено на месте потребления более 440 кг. Для этого рассмотрим способы производства ВГХН и НГХН.

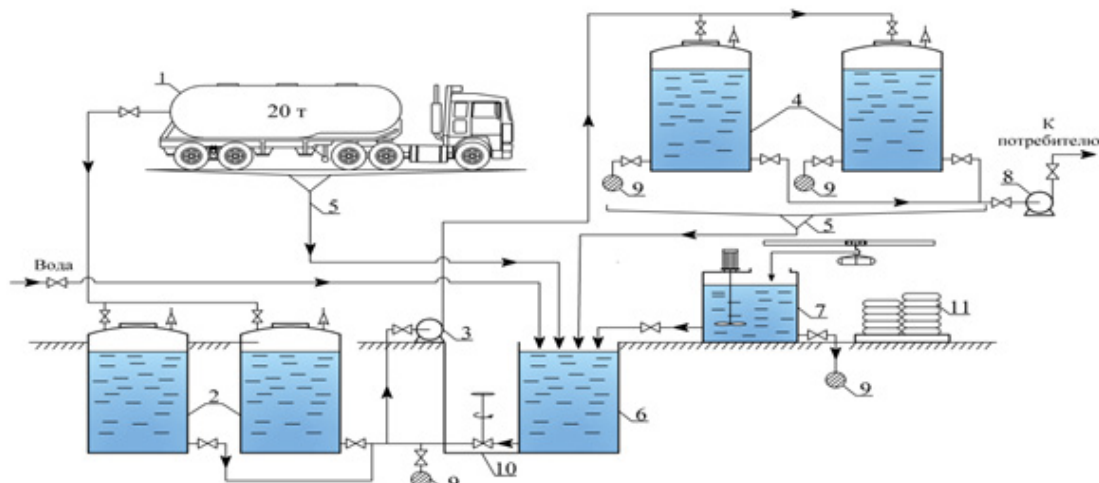
Способ производства высококонцентрированного гипохлорита натрия

ВГХН реагент, имеющий 3 класс опасности, при попадании на кожу вызывает химический ожог, а в глаза – слепоту. Традиционно ВГХН поставляется через сеть посредников, первый из которых приобретает этот продукт на ближайшем заводе от Калмыкии – «Каустик» в г. Волгограде.

Вывоз реагента осуществляется по всей Республике на значительные расстояния без использования специального транспорта и емкостного оборудования, с нарушением требований хранения, слива и дозирования, что строго регламентируется «Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности» (ФНП), раздел

XIV [15]. Высококонцентрированному гипохлориту характерна потеря активного хлора, особенно в летнее время (до 80 % за 30 суток при $t = 25^\circ \text{C}$) [11]. Поэтому длительное хранение в «запас» нецелесообразно как у продавца, так и у покупателя. С учетом заметной потери активного хлора потребитель ГХН должен приобретать небольшие количества дезинфектанта для поддержки хозяйственных нужд и вновь обращаться в торговую сеть за новыми поставками реагента, что в условиях Калмыкии обременительно из-за сложной логистики.

Рассмотрим возможность централизованной поставки ВГХН. Согласно [15], разовый завоз ВГХН осуществляется специализированным автотранспортом в количестве 20 т (рис. 1, поз. 1). Для минимизации возможной опасности в случае аварийной ситуации разгрузка происходит в узлах, предотвращающих разлив реагента и локализирующих возможный ущерб (рис. 1).



1 – специализированный автотранспорт; 2 – перелив привозного гипохлорита натрия в промежуточную емкость; 3,4 – перекачивания гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения; 5,6,7 – разбавление и нейтрализации аварийных разливов гипохлорита натрия; 8 – дозирование гипохлорита натрия; 9 – перелив гипохлорита натрия из транспортного контейнера в сбрасываемую промышленную канализацию в случае аварии; 10 – колодец для отведения гипохлорита натрия в общегородскую канализацию; 11 – емкость для приготовления раствора тиосульфата натрия

Рис. 1 – Принципиальная схема станции перелива, хранения и дозирования ВГХН

1 – specialized vehicles; 2 – overflow of imported sodium hypochlorite into an intermediate container; 3,4 – pumping of sodium hypochlorite from an intermediate container into storage containers; 5,6,7 – dilution and neutralization of emergency spills of sodium hypochlorite; 8 – dosing of sodium hypochlorite; 9 – overflow of sodium hypochlorite from a transport container into a discharged industrial sewer in the case of accidents; 10 – a well for the discharge of sodium hypochlorite into the citywide sewer; 11 – a container for the preparation of a solution of sodium thiosulfate

Fig. 1 – Schematic diagram of the VGHN overflow, storage and dosing station

Для детализации технологических операций обращения с ВГХН при консультативной поддержке ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск) был выполнен укрупненный проект станции хранения и дозирования высококонцентрированного гипохлорита натрия производительностью 500 кг/сутки (рис. 1). Это необходимо для оценки того, с чем столкнется Республика при организации привозного реагента.

Проектирование вели в соответствии с «Феде-

ральными нормами и правилами в области промышленной безопасности», раздел XIV. «Требования к порядку хранения, транспортирования, слива и дозирования гипохлорита натрия» [15].

В результате проектирования было установлено, что требуется соблюдение строгой последовательности производственных операций, включающих следующие зоны (рис. 1):

– перелива привозного гипохлорита натрия в промежуточную емкость (поз. 2);



– перекачивания гипохлорита натрия из промежуточной емкости в контейнеры-резервуары для хранения (поз. 3,4);

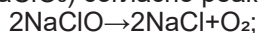
– разбавление и нейтрализация аварийных розливов гипохлорита натрия (поз. 5,6,7);

– дозирование гипохлорита натрия (поз. 8).

В случае возникновения аварии на складе – разлива гипохлорита натрия при переливе из транспортного контейнера т– сбрасываемый в промышленную канализацию (поз. 9) раствор ГХН необходимо разбавлять водой до концентрации 2-3 мг/л или дехлорировать путем введения раствора тиосульфата натрия в количестве 3,5 мг на 1 мг активного остаточного хлора в растворе, затем через колодец (поз. 10) отвести в общегородскую канализацию.

Для приготовления раствора тиосульфата натрия (поз. 11) предусмотрена емкость $V = 100$ л (поз. 7) с ручной мешалкой (поз. 3). Из емкости (поз. 7) раствор тиосульфата натрия самотеком по трубопроводу поступает в приемок (поз. 6) для нейтрализации и разбавления ВГХН. Помещение склада оборудовано автоматической системой контроля общеобменной вентиляционной системы с искусственным побуждением.

Так как значительные потери гипохлорита натрия (NaClO) из товарного раствора происходят в летнее время из-за неустойчивости продукта, то температура воздуха в помещении склада должна быть не более 5°C . Убыль гипохлорита натрия происходит в результате разложения его на поваренную соль (NaCl), кислород (O_2) и хлорат натрия (NaClO_3) согласно реакциям:



На таком объекте следует полностью исключить возможность попадания в гипохлорит натрия кислот или их солей во избежание мгновенного образования и выброса хлора.

Трубопроводы гипохлорита натрия должны отвечать требованиям ФНП в области промышленной безопасности:

– трубопроводы гипохлорита натрия из ПВХ;

– предусмотрена защита трубопроводов гипохлорита натрия от механических воздействий (устройство канала);

– предусмотрено удобное техническое обслуживание и ремонт трубопроводов;

– предусмотрено наличие запорной армату-

ры, изготовленной из материалов, стойких к среде гипохлорита натрия.

Согласно проектно-сметной документации выполненного проекта, затраты на реализацию запроектированной станции (инженерные изыскания, инженерные сети, технологическое оборудование и общестроительные работы) в ценах 2024 г. составят около 100 млн руб. (НДС 20 %). С учетом того, что стоимость 1 кг активного хлора ВГХН равна ориентировочно 190-220 руб., реализация и последующая эксплуатация запроектированной станции потребует от предприятия взвешенного подхода, поиска и выделения средств не только на капитальные затраты, но и на немалые эксплуатационные расходы.

Как следует из вышеизложенного, хранение и дозирование концентрированного гипохлорита натрия требуют неукоснительного соблюдения правил безопасности, выполнение которых на реальном объекте является достаточно сложной и дорогостоящей задачей из-за необходимости наличия специальных материалов, систем контроля и автоматизации технологического процесса.

Рассмотрим пример, когда потребитель будет использовать для своих нужд ВГХН, приобретая его через мелкооптовую сеть. В этом случае возникает необходимость корректировать pH такого раствора (12 ед.) до слабощелочного (8,0-8,5 ед.). Эти условия, как было отмечено выше, обеспечивают высокую окислительную способность ГХН, что значительно расширяет область его применения.

Понизить pH возможно кислыми реагентами (соляной или серной кислотами), что в условиях сельских районов крайне обременительно и к тому же опасно из-за возможной передозировки реагентов, что приведет к выбросу газообразного хлора в окружающую среду со всеми трагичными последствиями.

Снизить pH ВГХН возможно природной (атмосферной) или водопроводной водой, что совершенно безопасно, т.к. показатель ее активной среды обычно не превышает 8,2 единиц. Для этого были проведены опыты (табл. 2) для оценки возможного использования воды с целью снижения pH раствора ВГХН (на примере реагента «Белизна»). После разбавления в 2000 раз водопроводной водой концентрация активного хлора «Белизны» составила $0,017 \text{ г/дм}^3$ или 17 мг/дм^3 .

Таблица 2 – Изменение pH раствора при разбавлении «Белизны», с концентрацией по активному хлору $32,8 \text{ г/дм}^3$ и $\text{pH} = 11,8$

№ п/п	Объем раствора, мл	Объем «Белизны», мл	pH	Степень разбавления, в раз
1	90	0	8,15	0
2	100	10	10,54	10
3	250	1	8,90	250
4	500	1	8,61	500
5	500	0,5	8,42	1000
6	1000	0,5	8,32	2000



Очевидно, что для достижения низких значений рН путем разбавления раствора потребуются значительные объемы пресной воды, крайне дефицитной на территории Калмыкии. К тому же полученная в конечном итоге концентрация активного хлора недостаточна для ряда операций обработки объектов животноводства и зерноводства.

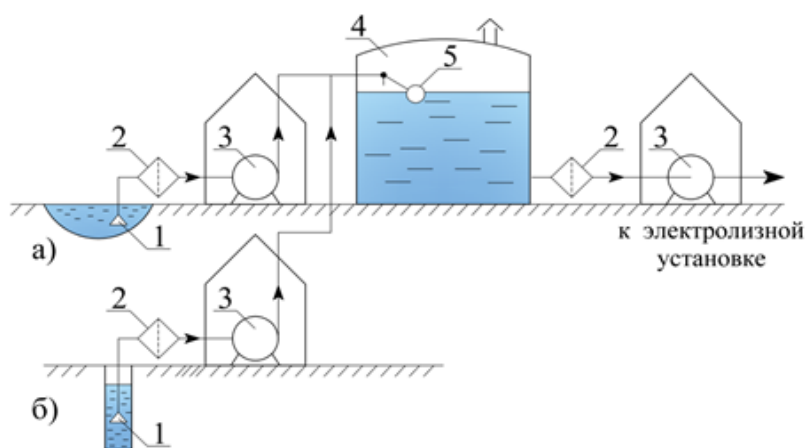
Способ производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия

Результаты исследований, представленных в [16], дают основание для выбора и назначения способа производства НГХН с учетом химического состава природных растворов, в первую очередь, количества содержащихся в них хлорид-ионов. В этой работе показано, что по результатам электролиза изученных трех природных растворов трудно отдать предпочтение определенному сырьевому источнику производства дезинфектанта.

Следовательно, для каждого потенциального источника сырья необходимо учитывать его качество, количество энергетического ресурса (элек-

троэнергии) и назначение получаемого продукта, который производится на месте для собственных нужд или централизованно подается потребителю.

Добыча, транспортировка и накопление исходного природного раствора. Общими для всех способов являются добыча, транспортировка природного раствора и его накопление (рис. 2). К поверхностным источникам, в нашем случае, относятся: р. Элиста и оз. Улан-Хол. К подземному – п. Юста. Регулирование добычи раствора от водозабора с помощью насосной станции (3) через механический фильтр (2) осуществляется с помощью шарового клапана (5), от которого поступает электрический сигнал о включении или выключении подающего насоса (3). Производительность насосов и объем накопительного резервуара (4) подбираются на основании инженерных расчетов потребности в товарном продукте, и согласно климатическим условиям территории он может быть заглублен или расположен в отапливаемом помещении.



- а – поверхностного; б – подземного;
1 – водозабор; 2 – механический
фильтр; 3 – насосная станция;
4 – накопительный резервуар;
5 – шаровой клапан

Рис. 2 – Принципиальная схема добычи, транспортировки и накопления

природного раствора из источника
а – surface; b – underground;

- 1 – water intake; 2 – mechanical filter;
3 – pumping station; 4 – storage tank;
5 – ball valve

Fig. 2 – Schematic diagram of mining, transportation and accumulation natural solution from the source

Станция для производства НГХН. Традиционно при производстве НГХН используется проточный режим электролиза. Для этого на электролизных станциях (установках) монтируются многоступенчатые, последовательно включенные электролизеры, благодаря которым на каждой ступени достигается приращение концентрации НГХН до тех пор, пока не будет достигнуто ее предельное значение. В настоящей работе предлагается использовать циркуляционный режим электролиза, при котором концентрация товарного продукта будет расти до определенного значения. Причем, чем выше концентрация хлоридов в растворе, тем больше можно получить активного хлора. Для подтверждения этого был проведен электролиз переменным током в режиме непрерывной циркуляции растворов р. Элиста, п. Юсты и оз. Улан-Хол (рис. 3).

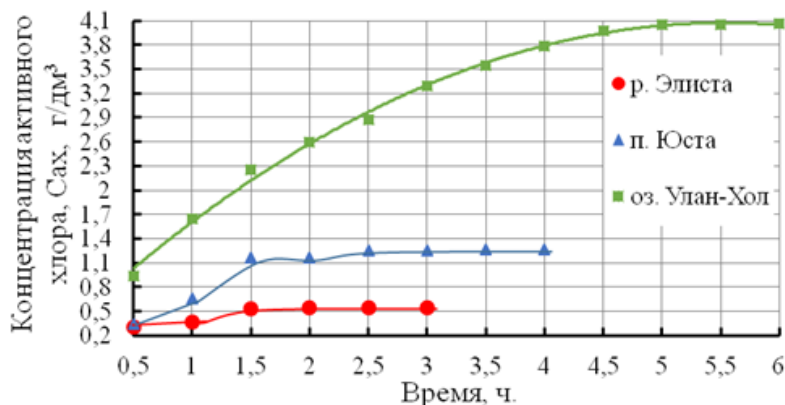
Из рис. 3 следует, что, действительно, при выбранных и обоснованных ранее [16] плотностях тока рост концентрации для каждого раствора завершается своим предельным значением, которое зависит от содержания хлорид-ионов. В дальнейшем электролиз раствора приводит только к затратам электроэнергии.

Если сравнить между собой растворы п. Юста и р. Элиста по содержанию в них хлорид-ионов, то в оз. Улан-Хол их несопоставимо больше (в 50 раз), а количество активного хлора образуется всего соответственно в 4 и 8 раз. Это можно объяснить тем, что кроме образования активного хлора на аноде согласно уравнению: $ClO^- + H_2O + \bar{e} \rightarrow 2OH^- + Cl^-$ происходит его восстановление на катоде (на том же электроде, после изменения полярности) до исходного сырья – хлорид-ионов с одновременным подщелачиванием раствора.

Из этого рисунка также следует, что из 250 граммов хлорид-ионов раствора образуется около 4 граммов активного хлора, т.е. коэффициент использования ионов составляет всего 1,6 %. Следовательно, в готовом продукте с концентрацией активного хлора в 4,15 г/дм³ будет присутствовать практически тот же рассол, который использовали в качестве сырья. Применять такой раствор нецелесообразно из-за его высокой минерализации. Очевидно, нужно выбрать природный раствор со значительно меньшей минерализацией, или разбавить высокоминерализованный пресной во-



дой (возможно, атмосферной), до концентраций хлоридионов, например, р. Элиста и подземной п. Юста. В растворах исследованных объектов хлоридионы используются для производства активного хлора соответственно на 37 и 26 %.



Для обеспечения экономически обоснованной производительности НГХН и бесперебойной штатной работы станции необходимо руководствоваться результатами научных исследований, изложенных в [11], обращая особое внимание на мероприятия, направленные на снижение образования осадка в электролизе – основной проблемы синтеза НГХН.

Эти особенности были приняты во внимание и предусмотрены при разработке технологических схем производства электролизом НГХН применительно к трем изученным водным растворам, характерным по минеральному составу территории Калмыкии. На основании выполненных исследований было принято решение: для борьбы с осадкообразованием при производстве НГХН использовать при электролизе переменный ток, а для повышения на выходе концентрации товарного продукта – дополнительно ввести водоподготовку природной воды путем снижения ее гидрокарбонатной щелочности.

К вопросу использования соляной кислоты на станции производства НГХН. Как следует из результатов опытов, в корпусе электролизера при любых условиях электролиза всегда со временем накапливаются на стенках и отдельных частях катода осадки нерастворимых солей, которые периодически необходимо удалять. Для этого на станции должна быть кислота (только соляная, серная не удаляет осадки), которую можно доставить в специальной таре в виде 3 %-го раствора HCl , а затем дозировать для удаления осадков, и/или снижения гидрокарбонатной щелочности.

Как известно, любой технологический процесс для достижения непрерывности и качества продукции требует использования средств автоматического управления. Для этого предусматриваются системы низкого и высокого уровня. Низкий – предусматривает частичную автоматизацию, например, только контроль за подачей раствора, его температурой в процессе электролиза. Высокий

Следовательно, высокоминерализованные растворы типа оз. Улан-Хол надо рассматривать как минеральное сырье для дальнейшего разбавления пресной водой (до 5-10 г/дм³) перед электролизом.

Рис. 3 – Зависимость концентрации активного хлора от времени электролиза переменным током в циркуляционном режиме растворов с минерализацией и плотностью тока для:

р. Элиста – 5760 мг/дм³, i – 100 А/м²;

п. Юсты – 10050 мг/дм³, i – 100 А/м²;

оз. Улан-Хол – 304560 мг/дм³, i – 200 А/м²

Fig. 3 – Dependence of the concentration of active chlorine on the time of electrolysis by alternating current in the circulation mode of solutions with mineralization and current density for:

R. Elista – 5760 mg/dm³, i – 100 A/m²;

P. Justa – 10050 mg/dm³, i – 100 A/m²; lake

Ulan-Khol – 304560 mg/dm³, i – 200 A/m²

уровень – обеспечивает контроль и выполнение всех технологических операций, когда присутствие оператора станции не требуется. Наличие звуковой и цифровой информации на пульте управления дает оператору указания к действию. Для создания автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП) требуется, кроме программного обеспечения, большое число исполнительных механизмов, датчиков, шкафов управления, связи с оператором и т.д. Стоимость такой системы, как правило, превосходит цену основного оборудования. Для условий Калмыкии такой высокий уровень не оправдан из-за сложной логистики доставки запасных частей, отсутствия соответствующих специалистов и пр.

В соответствии с этим нами предлагается способ с ручным управлением технологическим процессом на основе визуальных наблюдений за приборами контроля температуры и расхода раствора, временем электролиза, техническим состоянием трубопроводного и насосного оборудования.

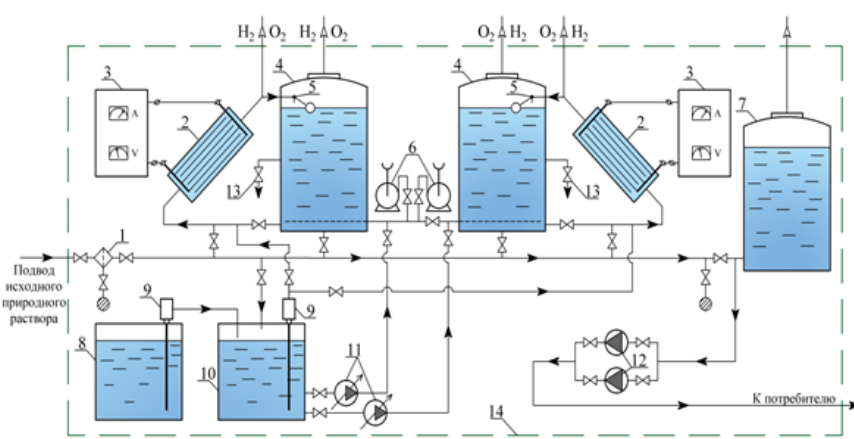
На основании вышеизложенного предполагается два способа производства НГХН (без снижения, со снижением карбонатной щелочности) и одна вспомогательная операция для устранения накопившихся осадков в электролизере и емкостном оборудовании. Все это возможно реализовать по схеме, представленной на рис. 4.

Способ производства НГХН без снижения карбонатной щелочности. Природный раствор согласно принципиальной схеме добычи, транспортировки и накопления при помощи насоса (рис.4) подается на сетчатый фильтр для удаления механических загрязнений, возможно попавших в накопительный резервуар 4. Подающий насос 6 обеспечивает подачу исходного раствора в электролизер и бачок 4 до срабатывания шарового клапана 5. В зависимости от состава природного раствора устанавливается требуемый переменный ток блоком 3.



Так как ранее было обосновано применение электролиза в циркуляционном режиме, то в предлагаемом способе это достигается путем перемещения обрабатываемого раствора эрлифтным эффектом (за счет образующихся газов на аноде и катоде) по схеме: электролизер 2 → циркуляционная емкость 4 → электролизер 2 → и т.д. до

получения максимальной концентрации активного хлора. По данным наших исследований для этого, при выбранных оптимальных значениях тока, время электролиза будет составлять от 3 до 6 часов в зависимости от минерального состава природного раствора.



1 – механический фильтр; 2 – электролизер; 3 – блок переменного тока; 4 – рециркуляционная емкость раствора НГХН; 5 – шаровый кран; 6 – воздуходувка; 7 – накопительная емкость; 8 – еврокуб с концентрированной соляной кислотой; 9 – бочковой насос; 10 – бак с рабочим раствором соляной кислоты; 11 – насос-дозатор;

12 – насос подачи готового раствора НГХН; 13 – пробоотборник; 14 – границы помещения / блок-контейнера

Рис. 4 – Принципиальная технологическая схема производства электролизом НГХН

1 – mechanical filter; 2 – electrolyzer; 3 – alternating current unit; 4 – recirculation tank of NHHN solution; 5 – ball valve; 6 – air blower; 7 – storage tank; 8 – eurocube with concentrated hydrochloric acid; 9 – barrel pump; 10 – tank with working hydrochloric acid solution; 11 – dosing pump; 12 – pump for feeding the finished NHHN solution; 13 – sampler; 14 – boundaries of the room / block container

Fig. 4 – Basic process flow diagram of the production of NHHN by electrolysis

Образующаяся при электролизе взрывоопасная смесь O_2 и H_2 эвакуируется сразу после электролизера, а также из емкости 4 за пределы помещения естественным способом.

Приготовленный раствор НГХН самотеком сливается в накопительную емкость 7, откуда он подается потребителю насосом 12.

Способ производства НГХН с предварительным снижением карбонатной щелочности. Выбор этого способа позволяет значительно повысить выход товарного продукта (на 100-150 %), но требует использования привозного реагента – соляной кислоты.

Согласно предлагаемому способу, ввод заданной концентрации кислоты и необходимого ее объема осуществляется одновременно с заполнением емкости 4 природным раствором для обеспечения их полного смешивания. Доза кислоты подбирается на основании предварительных лабораторных технологических изысканий. Подача воздуха для отдува избыточного CO_2 после подкисления раствора проводится при помощи воздуходувки 6, а контроль качества обработанного раствора перед пуском электролиза – через пробоотборник 13.

Для приготовления расходного раствора соляной кислоты используется привозная кислота, находящаяся в баке 8, поставляемая на электролизную станцию, и которая бочковым насосом 9 перекачивается в емкость 4.

Вспомогательная операция для удаления осадка. Результаты исследований в работе показали, что использование переменного тока и снижение карбонатной щелочности исходного природного раствора заметно снижают образование осадка на катоде, но, тем не менее, ведут к накоплению его в технологическом оборудовании. Предлагаемая схема (рис. 4) предусматривает удаление осадка путем его растворения соляной кислотой.

Для этого после полного опорожнения всего емкостного оборудования необходимо осуществить его промывку исходным природным раствором до полного отсутствия в нем остаточного активного хлора. Если это не будет достигнуто, то при последующем добавлении соляной кислоты образуется токсичный хлор-газ, появление которого недопустимо из-за возможного химического отравления обслуживающего персонала [11].

При достижении отсутствия активного хлора в промывочном природном растворе (после продолжительной подачи раствора) в емкостном оборудовании дозируется кислота в таком количестве, которое обеспечит удаление осадка из электролизера и со стенок баков. Эта процедура проводится до полного срабатывания кислоты. Такое мероприятие необходимо проводить с периодичностью 5-6 месяцев. Оно не опасно для окружающей среды, т.к. промывочный раствор будет иметь



нейтральную среду, а его можно использовать для приготовления строительных растворов, например, бетона.

Предлагаемый способ отличается:

- простотой конструкции оборудования, позволяющей применять приемы серийного изготовления станции на специализированных предприятиях;
- доступностью эксплуатации и ремонтпригодностью;
- безопасностью для обслуживающего персонала и окружающей среды, минимальным ассортиментом опасных реагентов.

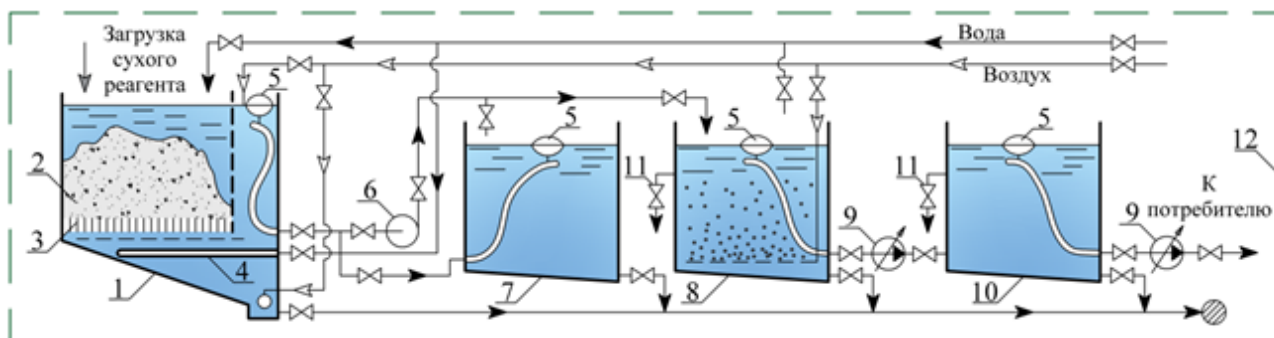
Территориально располагаться электролизная станция может в двух вариантах: в капитальном здании, либо в блок-контейнерном исполнении. Последнее является наиболее рациональным решением, т.к. предполагает изготовление станции в заводских условиях и его доставку автотранспортом к месту производства НГХН, где должны быть подготовлены железобетонная плита и подведены

инженерные сети (электроэнергия, исходный раствор). Тем более, в Калмыкии имеется большой опыт применения таких сооружений, в частности, для систем водоснабжения малых населенных мест [10].

Низкоконцентрированный гипохлорит натрия с корректирующими добавками

В ряде случаев [14] требуется снижение токсичности раствора НГХН (доведение до требуемого уровня pH) за счет использования активирующего агента. Так, в способе возделывания сельскохозяйственных культур применение соединений меди, бора проявляет стимулирующие свойства, положительно воздействуя на их развитие [17].

Предлагается использовать борную кислоту (H_3BO_3) и сульфат меди ($CuSO_4$) для регулирования pH раствора НГХН [18], полученного электролизом природного хлоридсодержащего раствора по следующей последовательности операций (рис. 5).



- 1 – бак для растворения и хранения реагента; 2 – реагент; 3 – колосниковая решетка; 4 – подача воды для растворения реагента; 5 – устройство для забора раствора; 6 – насос перекачки исходного раствора; 7 – бак-хранилище; 8 – расходный бак; 9 – насос-дозатор раствора реагента в бак с НГХН; 10 – бак готового раствора; 11 – пробоотборник; 12 – граница помещения или блок-контейнера

Рис. 5 – Принципиальная схема установки приготовления и дозирования реагентов борной кислоты или медного купороса в раствор НГХН

- 1 – tank for dissolving and storing the reagent; 2 – reagent; 3 – grate; 4 – water supply for dissolving the reagent; 5 – device for collecting solution; 6 – pump for pumping the initial solution; 7 – storage tank; 8 – flow tank; 9 – dispenser pump for reagent solution into the tank with NGHN; 10 – tank of ready solution; 11 – sampler; 12 – the boundary of the room or block container

Fig. 5 – Schematic diagram of the installation for the preparation and dosing of boric acid reagents into a solution of NGHN

Загрузка сухого реагента 2 (H_3BO_3 и $CuSO_4$) осуществляется с помощью подъемного механизма в бак 1 для растворения водой через распределительный водовод 4. При этом количество реагента закладывается с избытком по отношению к воде. Для перемешивания используется воздух, который подается через колосниковую решетку 3. Насыщенный раствор через шланг 5 насосом 6 подается либо в бак-хранилище 7, либо в расходный бак 8. После перемешивания и разбавления раствора в баке 8 до требуемой концентрации полученная смесь насосом-дозатором смешивается в баке 10 с заранее приготовленным НГХН. Активированный раствор после этого готов к потреблению и подается далее с помощью насоса 9. Для контроля качества растворов в баках 8 и 10 предусмотрены пробоотборники 11.

Представленная принципиальная схема обеспечивает приготовление только одного реагента. Если возникает необходимость применения двух реагентов, то требуется иметь одновременно работающую аналогичную установку с тем же составом оборудования.

Совмещение в баке 1 двух реагентов создаст технологические трудности в управлении растворением и дозированием борной кислоты и сульфата меди.

Подбор емкостного оборудования, насосов определяется расходом реагентов и рассчитывается для конкретного объекта. Установка должна быть смонтирована либо в капитальном строении, либо блок-контейнере с соблюдением режима воздухообмена и комфортной температуры для обслуживающего персонала. Так как используемые



реагенты в сухом виде не токсичны, они могут храниться в помещении, где располагается установка.

Заключение

Показано, что санитарная безопасность продукции сельского хозяйства и качества питьевой воды может быть достигнута путем использования хлорсодержащих продуктов на основе раствора гипохлорита натрия (ГХН). Данный продукт может быть получен с завода-поставщика (концентрированный) или произведен на месте потребления из минерального природного раствора. В работе обосновано преимущество способа производства ГХН из местных ресурсов по сравнению с привозным. Установлено, что циркуляционный режим электролиза переменным током обеспечивает максимальный выход товарного продукта и снижение осадкообразования на катоде электролизера. Для этого предлагается ручное управление производством ГХН на основе визуального наблюдения за приборами контроля предлагаемых технологических процессов. Обоснована возможность снижения осадкообразования путем снижения карбонатной щелочности исходного раствора при помощи соляной кислоты. Для повышения эффективности применения ГХН представлены технологические схемы способов приготовления и дозирования реагентов борной кислоты или медного купороса для корректировки активной среды (pH) раствора.

Список источников

1. Наумова, О. В. Особенности использования гипохлорита натрия в сельском хозяйстве. Технология приготовления раствора в малогабаритном мобильном устройстве / О. В. Наумова, М. В. Карпов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 120-127.
2. To assess the biocidal action of the drug based on sodium hypochlorite / M. P. Soltys, V. M. Gunchak, G. V. Rudyk [et al.] // Colloquium-Journal. – 2020. – No. 30-2(82). – P. 11-16. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-12236.
3. Попов, П. А. Дезинфектанты на основе стабильных и метастабильных веществ и их применение в ветеринарии: специальность 06.02.05 «Ветеринарная санитария, экология, зоогиена и ветеринарно – санитарная экспертиза»: диссертация на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / Попов Петр Александрович; Всероссийский Научно - Исследовательский Институт Экспериментальной Ветеринарии Имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской Академии Наук. – Москва, 2021 – 426 с.
4. Жолобова, И. С. Фармако-токсикологическое обоснование применения натрия гипохлорита в ветеринарии и животноводстве: специальность 16.00.04 16.00.01: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук / Жолобова Инна Сергеевна. – Воронеж, 2006. – 49 с.
5. Зафириди, А. Г. Применение раствора натрия гипохлорита в ветеринарии и животноводстве: специальность 16.00.04 «Ветеринарная фармакология с токсикологией»: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Зафириди Александр Григорьевич; Кубанский Государственный Аграрный Университет. – Краснодар, 2006. – 209 с.
6. Гипохлорит натрия для питьевого водоснабжения на селе: проект для региональной электростанции / А. В. Денисова, К. К. Популиди, И. А. Денисова, Т. В. Дикова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 96.
7. Онкаев, А. В. Использование электрохимических процессов для производства гипохлорита кальция из многотоннажных промышленных отходов / А. В. Онкаев, А. Ю. Скрябин, В. А. Онкаев // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2023": Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Кисловодск, 18–21 апреля 2023 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. – С. 180-184.
8. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». / Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. №2.
9. Патент на полезную модель № 11636, Жидкое концентрированное борно-медное удобрение с биологически активными веществами / Муковозчик В. А., Гук Л. Н., Тихонович З. Н., Титова С. А., Сафронская Г. М., Рак М. В., Барашкова Е. Н. - № а 20070777, заявлено 22.06.2007, опубл. 28.02.2009. – 5 с. URL: <https://bypatents.com/5-11636-zhidkoe-koncentrirovannoe-borno-mednoe-udobrenie-s-biologicheski-aktivnymi-veshhestvami.html#text>
10. Онкаев В. А. Разработка и исследование процессов водоподготовки в мобильно – картриджных системах децентрализованного водоснабжения малых населенных мест: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Онкаев Виктор Аджиевич; Ростовский Государственный Строительный Университет. – Волгоград, 2010 – 170 с.
11. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология: монография / Л. Н. Фесенко, В. В. Денисов, А. Ю. Скрябин. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2012. - 246 с.
12. Пчельников И. В. Совершенствование технологии производства обеззараживающего реагента - гипохлорита натрия электролизом морской воды: на примере Черного моря: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пчельников Игорь Викторович; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. – Волгоград, 2015 – 155 с.
13. Кудрявцев Н. Т. Прикладная электрохимия: учебник / Н. Т. Кудрявцев – М.: Химия, 1975. – 552 с.
14. Патент на полезную модель № 2483544. Бицидная комбинация на основе гипохлорита для применения в сельском хозяйстве / ФА-ИТА Джузеппе. - № 2010133141/13: заявлено 08.01.2009: опубл. 10.06.2013. – 15 с. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2483544C2_20130610.pdf



15. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности производств хлора и хлорсодержащих сред». Серия 09. Выпуск 39. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно – технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 120 с.

16. Онкаев, А.В. Особенности получения гипохлорита натрия электролизом из природных хлоридсодержащих вод (на примере Республики Калмыкия) / А.В. Онкаев, И.А. Успенский, Н.В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им.

П.А. Костычева. – 2024. – Т., № 4.

17. Онкаев, А.В. Исследование влияния дезинфекции химическими растворами на энергетические свойства зернового материала / А.В. Онкаев, И.А. Успенский, Н.В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 50-57.

18. Патент на полезную модель № 2828663. Способ дезинфектанта на основе гипохлорита натрия / Онкаев А.В. - № 2023136024: заявлено 29.12.2023; опубл. 15.10.2024. – 10 с. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2828663C1/ru>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Naumova, O. V. Osobennosti ispol'zovaniya gipokhlorita natriya v sel'skom khozyaystve. Tekhnologiya prigotovleniya rastvora v malogabaritnom mobil'nom ustroystve / O. V. Naumova, M.V. Karpov // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. – 2023. – № 9. – S. 120-127.

2. To assess the biocidal action of the drug based on sodium hypochlorite / M. P. Soltys, V. M. Gunchak, G. V. Rudyk [et al.] // Colloquium-Journal. – 2020. – No. 30-2(82). – P. 11-16. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-12236.

3. Popov, P.A. Dezinfektanty na osnove stabil'nykh i metastabil'nykh veshchestv i ikh primeneniye v veterinarii: spetsial'nost' 06.02.05 «Veterinarnaya sanitariya, ekologiya, zoogigiyena i veterinarno – sanitarnaya ekspertiza»: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora veterinarnykh nauk / Popov Petr Aleksandrovich; Vserossiyskiy Nauchno - Issledovatel'skiy Institut Eksperimental'noy Veterinarii Imeni K.I. Skryabina i YA.R. Kovalenko Rossiyskoy Akademii Nauk. – Moskva, 2021 – 426 s.

4. Zholobova, I. S. Farmako-toksikologicheskoye obosnovaniye primeneniya natriya gipokhlorita v veterinarii i zhivotnovodstve: spetsial'nost' 16.00.04 16.00.01: avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni doktora veterinarnykh nauk / Zholobova Inna Sergeyevna. – Voronezh, 2006. – 49 s.

5. Zafiridi, A.G. Primeneniye rastvora natriya gipokhlorita v veterinarii i zhivotnovodstve: spetsial'nost' 16.00.04 «Veterinarnaya farmakologiya s toksikologiyey»: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata veterinarnykh nauk / Zafiridi Aleksandr Grigor'yevich; Kubanskiy Gosudarstvennyy Agrarnyy Universitet. – Krasnodar, 2006. – 209 s.

6. Gipokhlorit natriya dlya pit'yevogo vodosnabzheniya na sele: proyekt dlya regional'noy elektrostantsii / A. V. Denisova, K. K. Populidi, I. A. Denisova, T. V. Dikova // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2014. – № 4-1(31). – S. 96.

7. Onkayev, A. V. Ispol'zovaniye elektrokhimicheskikh protsessov dlya proizvodstva gipokhlorita kal'tsiya iz mnogotonnazhnykh promyshlennykh otkhodov / A. V. Onkayev, A. YU. Skryabin, V. A. Onkayev // Tekhnologii ochistki vody "TEKHNOVOD-2023": Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kislovodsk, 18–21 aprelya 2023 goda. – Novocherkassk: ООО "Lik", 2023. – S. 180-184.

8. Sanitarnyye pravila i normy SanPiN 1.2.3685-21 «Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya». /Postanovleniye Rospotrebnadzora ot 28.01.2021 g. №2.

9. Patent na poleznuyu model' № 11636, Zhidkoye kontsentriruyemoye borno-mednoye udobreniye s biologicheskimi aktivnymi veshchestvami / Mukovozchik V.A., Guk L.N., Tikhonovich Z.N., Titova S.A., Safronskaya G.M., Rak M.V., Barashkova Ye.N. - № a 20070777, zayavleno 22.06.2007, opubl. 28.02.2009. – 5 c. URL: <https://bypatents.com/5-11636-zhidkoe-kontsentriruyemoe-borno-mednoe-udobrenie-s-biologicheskimi-aktivnymi-veshchestvami.html#text>

10. Onkayev V.A. Razrabotka i issledovaniye protsessov vodopodgotovki v mobil'no – kartridzhnykh sistemakh detsentralizovannogo vodosnabzheniya malyykh naselennykh mest: spetsial'nost' 05.23.04 «Vodosnabzheniye, kanalizatsiya, stroitel'nyye sistemy okhrany vodnykh resursov»: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Onkayev Viktor Adzhiyevich; Rostovskiy Gosudarstvennyy Stroitel'nyy Universitet. – Volgograd, 2010 – 170 s.

11. Dezinfektant vody – gipokhlorit natriya: proizvodstvo, primeneniye, ekonomika i ekologiya: monografiya / L. N. Fesenko, V. V. Denisov, A. YU. Skryabin. - Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNTS VSH YUFU, 2012. - 246 s.

12. Pchel'nikov I.V. Sovershenstvovaniye tekhnologii proizvodstva obezzarazhivayushchego reagenta - gipokhlorita natriya elektrolizom morskoy vody: na primere Chernogo morya: spetsial'nost' 05.23.04 «Vodosnabzheniye, kanalizatsiya, stroitel'nyye sistemy okhrany vodnykh resursov»: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Pchel'nikov Igor' Viktorovich; Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet (NPI) imeni M.I. Platova. – Volgograd, 2015 – 155 c.

13. Kudryavtsev N.T. Prikladnaya elektrokhiymiya: uchebnik / N.T. Kudryavtsev – M.: Khimiya, 1975. – 552 c.



14. Patent na poleznuyu model' № 2483544. Biotsidnaya kombinatsiya na osnove gipokhlrita dlya primeneniya v sel'skom khozyaystve / FAITA Dzhuzeppe. - № 2010133141/13: zayavleno 08.01.2009: opubl. 10.06.2013. – 15 s. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2483544C2_20130610.pdf

15. Federal'nyye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti proizvodstv khloro i khlorosoderzhashchikh sred». Seriya 09. Vypusk 39. – M.: Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo «Nauchno – tekhnicheskiiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2014. -120 s.

16. Onkayev, A.V. Osobennosti polucheniya gipokhlrita natriya elektrolizom iz prirodnkh khloridsoderzhashchikh vod (na primere Respubliki Kalmykiya) / A.V. Onkayev, I.A. Uspenskiy, N.V. Limarenko [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T., № 4.

17. Onkayev, A.V. Issledovaniye vliyaniya dezinfektsii khimicheskimi rastvorami na energeticheskiye svoystva zernovogo materiala / A.V. Onkayev, I.A. Uspenskiy, N.V. Limarenko [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 2. – S. 50-57.

18. Patent na poleznuyu model' № 2828663. Cposob dezinfektanta na osnove gipokhlrita natriya / Onkayev A.V. - № 2023136024: zayavleno 29.12.2023: opubl. 15.10.2024. – 10 s. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2828663C1/>

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

Онкаев Адик Викторович, аспирант кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет» onkaev.adik08@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ivan.uspenskij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», yuival@rambler.ru

Лимаренко Николай Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»; профессор кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», limarenkodstu@yandex.ru

Пчельников Игорь Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет», pchelnikov.igor@mail.ru

Author Information

Onkaev Adik V., PhD student, Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection, South Russian State Polytechnic University, onkaev.adik08@yandex.ru

Uspensky Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ivan.uspenskij@yandex.ru

Yukhin Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of automotive and tractor equipment and thermal power engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yuival@rambler.ru

Limarenko Nikolay V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Instrumentation and Biomedical Engineering, Don State Technical University, Professor of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, limarenkodstu@yandex.ru

Pchelnikov Igor V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Management, Engineering Networks and Environmental Protection, South Russian State Polytechnic University, pchelnikov.igor@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2024; одобрена после рецензирования 07.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 18.12.2024; approved after reviewing 07.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 621.43.057

DOI: 10.36508/RSATU.2025.97.41.022

**УТОЧНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ БЕЗМОТОРНОЙ
ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ**

Сергей Александрович Плотников¹✉, Михаил Владимирович Смольников², Павел Вячеславович Гневашев³, Михаил Александрович Стародумов⁴, Анатолий Николаевич Карташевич⁵

^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

⁵ Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Республика Беларусь

¹ PlotnikovSA@bk.ru

² mihail.mai@mail.ru

³ pasha-moon@mail.ru

⁴ starodumov_99@mail.ru

⁵ Kartashevich@yandex.ru

Аннотация

Проблема и цель – уточнение характеристик моторных дизельных топлив для дальнейшего расчета основных эксплуатационных показателей дизеля при его работе на различных комбинациях товарного ДТ и биологических компонентов. Объекты – составы дизельного топлива с этиловым спиртом, рапсовым маслом и сурепным маслом.

Методы – математический анализ и преобразование, эмпирический синтез и обобщение, лабораторные испытания. В лабораторных опытах использовался пикнометр ПЖ-2-25, рефрактометр ИРФ-454 Б2М, измерение электрических параметров осуществлялось мультиметром Sinometex ZT-Y.

Ход эксперимента. Опытным путем было осуществлено уточнение электрических свойств некоторых комбинаций ДТ с двухатомными спиртами и продуктами растительного происхождения. Определялись показатели дизельного топлива и смесевых составов, содержащие до 50 % биологических добавок. Полученные данные эксперимента и последующих расчетов представлены в виде таблиц.

Результаты и выводы. На основе лабораторных опытов предложен уточненный метод определения показателя преломления и осуществлена коррекция показателя преломления эмульсий ДТ и этанола. Приведены уточненные данные экспериментальных исследований электрических свойств исследуемых составов моторных топлив.

Ключевые слова: дизель, эффективные и экологические показатели, показатель преломления, регрессия, альтернативное топливо

Для цитирования: Плотников С.А., Смольников М.В., Гневашев П.В., Стародумов М.А., Карташевич А.Н. Уточнение характеристик дизельных топлив для безмоторной оценки эксплуатационных показателей автотракторного дизеля. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.164-170 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.97.41.022>

Original article

**SPECIFICATION OF THE CHARACTERISTICS OF DIESEL FUELS FOR NON-MOTORIZED
EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF TRACTOR DIESEL**

Sergey A. Plotnikov¹, Mikhail V. Smolnikov²✉, Pavel V. Gnevashev³, Mikhail A. Starodumov⁴, Anatoly N. Kartashevich⁵

^{1,2,3,4} Vyatka State University, Kirov, Russia

⁵ Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

¹ PlotnikovSA@bk.ru

² mihail.mai@mail.ru

³ pasha-moon@mail.ru

⁴ starodumov_99@mail.ru

⁵ Kartashevich@yandex.ru

© Плотников С.А., Смольников М.В., Гневашев П.В., Стародумов М.А., Карташевич А.Н., 2025 г.



Abstract

Problem and Purpose - specification of the characteristics of diesel engine fuels for further calculation of the main performance indicators of diesel when it operates on various combinations of commercial diesel fuel and biological components. Objects are diesel fuel compositions with ethyl alcohol, rapeseed oil and rapeseed oil.

Methods – mathematical analysis and transformation, empirical synthesis and generalization, laboratory tests. In laboratory experiments, a PZH-2-25 pycnometer and an IRF-22 refractometer were used, and electrical parameters were measured with a Sinometex ZT-Y multimeter.

The course of the experiment. Experimentally, the electrical properties of some combinations of DT with diatomic alcohols and products of vegetable origin were clarified. The parameters of diesel fuel and mixtures containing up to 50% biological additives were determined. The obtained experimental data and subsequent calculations are presented in the form of tables.

Results and conclusions. Based on laboratory experiments, a refined method for determining the refractive index was proposed and the refractive index of DT and ethanol emulsions was corrected. Updated data from experimental studies of the electrical properties of the studied motor fuel compositions are presented.

Key words: diesel, effective and environmental indicators, refractive index, regression, alternative fuel

For citation: Plotnikov S. A., Smolnikov M. V., Gnevashev P. V., Starodumov M. A., Kartashevich A. N. Specification of the characteristics of diesel fuels for non-motorized evaluation of the performance of tractor diesel. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 1, P.164-170 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.97.41.022](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.97.41.022)

Введение

Рабочие процессы в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) по своему характеру представляют собой периодически повторяющиеся импульсы в четко установленном моменте по углу поворота коленчатого вала (КВ). В настоящее время для определения эксплуатационных параметров работы дизельных ДВС чаще всего применяют методы стендовых и полевых испытаний, основанные на получении информации об изменении параметров рабочего процесса в зависимости от значения регулировок и величин износа точек контакта сборочных единиц ДВС. Неисправности в точках контакта деталей двигателя влекут за собой как фазовые, так и амплитудные искажения параметров рабочего процесса.

В качестве средств измерения чаще всего применяются комплексные электронные средства диагностирования: мотор-тестеры, автоматизированные диагностические стенды с широким перечнем универсальных измерительных датчиков [1,2]. Показатели датчиков обычно выводятся на контрольную панель или передаются на экран компьютера. Схема взаимодействия элементов диагностического стенда показана на рисунке 1. Зарубежные фирмы, специализирующиеся на выпуске двигателей, приняли соглашение о максимальной унифицированности диагностических систем с целью сокращения возникающих суммарных затрат на диагностирование.

Тем не менее, метод прямого диагностирования уходит в прошлое. Основная причина – он весьма трудоёмок, длителен, требует наличия достаточно сложного измерительного оборудования. Соответственно, наметился и реализуется новый путь – использование аналитических безмоторных экспресс-методов (АБЭМ), использующих в процессе диагностики исходные эксплуатационные свойства топлив. Известно, что выходные показатели работы ДВС в значительной степени коррелируют с физико-химическими свойствами топлив [3-6]. К таким свойствам, в первую очередь, можно отнести удельную рефракцию, диэлектрическую проницаемость и некоторые другие.

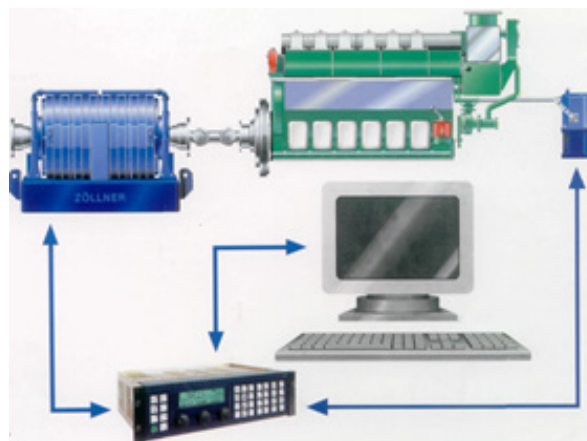


Рис. 1 – Схема взаимодействия элементов диагностического стенда

Fig. 1 – The interaction scheme of the elements of the diagnostic stand

Применение указанных методов может обеспечить получение точных характеристик рабочего процесса двигателя, его эффективных и экологических показателей без проведения диагностических мероприятий.

Теоретическая часть

Показатель преломления принадлежит к числу свойств, определение которых является обязательным для жидких соединений. Если принять к рассмотрению состав минеральных топлив, то показатель преломления будет увеличиваться таким путем: 1 – алканы; 2 – алкены; 3 — алкилциклопентаны; 4 – алкилциклогексаны; 5 – алкилбензолы; 6 – алкилнафталины.

Зависимости показателя преломления от состава у двойных систем (рис. 2), зависят от природы компонентов, их взаимодействия, способа выраженности состава. По удельной рефракции топлива можно судить об энергии и скорости активации частиц в одинаковых условиях реакции [6]. Потенциальная энергия активации частиц топлива может характеризовать величину максимального давления в цилиндре ДВС при сгорании в заданных условиях.



Это позволяет предполагать, что удельная рефракция и диэлектрическая проницаемость связаны между собой, а характер их изменения близок к показателям, оценивающим работу внутри цилиндра. По значению молекулярной рефракции можно подсчитать теплоту сгорания алканов, так как отношение теплоты сгорания к молекулярной рефракции – $\text{Const} = 33,6$. Из сказанного видно, что удельная рефракция sR топлив тесно связана с показателями работы дизеля.

Показатель преломления углеводородных соединений может констатировать особенности их молекулярного строения и даже состава, ввиду того, что он является константой для обособленного соединения при заданной температуре и переменной (аддитивной) величиной в случае исследования смеси. Кроме того, он позволяет определить концентрацию раствора, включающего два ингредиента. Существенным условием является незначительная разность значений показателя

для обоих ингредиентов, обуславливающая точность. Кроме того, влияние оказывает вид кривой (рис. 3).

Диэлектрическая проницаемость – способность вещества накапливать энергию. Она связана с удельной рефракцией, но, в силу своей физической значимости, определяет не абсолютные, а относительные факторы исследуемых параметров, которые могут быть идентифицированы по наличию экстремумов кривых [7.8].

Наличие экстремума в физико-химическом анализе (рис. 3) означает наличие химического взаимодействия компонентов, характеризует скорость взаимодействия.

А это значит, что по величине диэлектрической проницаемости двойных систем можно оценить скорость взаимодействия топлива и окислителя, что в определенной мере характеризует образование токсичных компонентов.

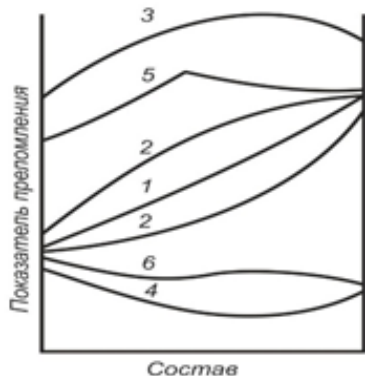


Рис. 2 – Зависимости показателя преломления от состава: 1 – с малой кривизной; 2 – с большой кривизной; 3 – с максимумом; 4 – с минимумом; 5 – с сингулярной точкой; 6 – с точкой перегиба

Fig. 2 – Dependence of the refractive index on the composition: 1 – with a small curvature; 2 – with a large curvature; 3 – with a maximum; 4 – with a minimum; 5 – with a singular point; 6 – with an inflection point

Объекты и методы

Для проведения лабораторных опытов были приготовлены составы дизельного топлива с этиловым спиртом, рапсовым маслом и сурепным маслом, содержащие до 50 % биологического компонента.

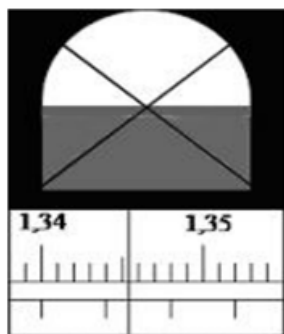


Рис. 4 – Поле зрения окуляра
Fig. 4 - Eyepiece field of view

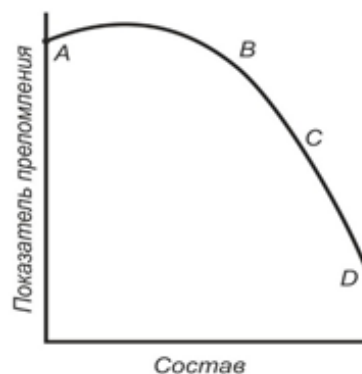


Рис. 3 – Данные рефрактометрии (два ингредиента, наличие экстремума на графике)

Fig. 3 - Refractometry data (two ingredients, presence of an extremum on the graph)

Определение показателя преломления производилось следующим образом. Открывали зеркало подсветки шкалы и поворачивали его. Вид шкалы через окуляр прибора должен иметь равномерное освещение. Далее открывали окно верхней призмы. Затем на рабочую плоскость нижней призмы подавали небольшое количество (2-3 капли) нужной смеси. После этого колпак рефрактометра закрывали. Вращением валика компенсатора дисперсии вначале добивались появления в поле зрения четкой границы света и тени, дальнейшим вращением добивались исчезновения окраски границы. Четкость изображения подстраивали, поворачивая окуляр прибора. Для отсчета было необходимо видимое в окуляр перекрестие навести на искомую границу. Тогда по шкале измерения с точностью до 0,0005 можно было видеть значение определяемого показателя (рис. 4). Учитывая, что шкала позволяет определять только тысячные доли, промежуточные (дробные) значения определяли визуально [9].



Экспериментальная часть

Во время нанесения каплю эмульсии на измерительную призму и проведения измерений происходит процесс коалесценции, однородность состава эмульсии снижается, что приводит к отсутствию четкой границы света и тени, ее размытости в пределах 1-5 единиц шкалы нониуса – снижению надежности измерения. Результатом является значительный разбег данных показателя преломления – от 0,001 до 0,005 (2-10 %). Для устранения этого обстоятельства после нанесения каплю

эмульсии на измерительную призму с помощью предварительно отсоединенной от корпуса рефрактометра верхней призмы в течение 1 минуты производилась притирка нанесенной эмульсии для получения однородного монослоя.

Моделирование процесса притирания на предметных стеклах с последующим фотографированием и последовательность изменений состояния исследуемого объекта (капли эмульсии) представлены на рисунке 5.

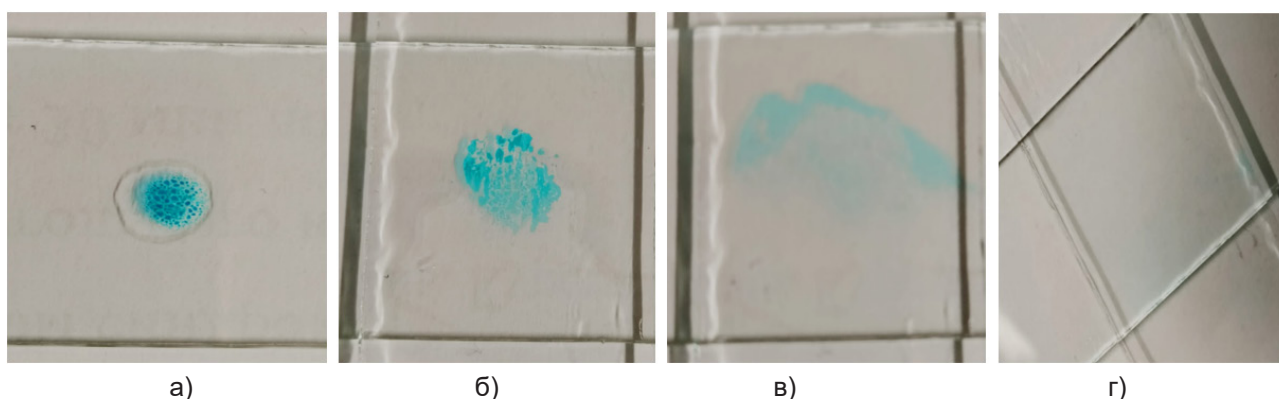


Рис. 5 – Ход притирки состава эмульсии:

а) – нанесение на стекло смеси; б) – сдавливание смеси; в) – ход притирки; г) – результат полной притирки
Fig. 5 – Lapping process of the emulsion composition: a) – applying the mixture to the glass; b) – squeezing the mixture; c) – lapping stroke; d) – the result of complete lapping

На предметное стекло помещали каплю смеси дизтоплива и подкрашенного этилового спирта (рис. 5,а). Так как дизельное топливо и спирт – несмешивающиеся жидкости, видно, что, несмотря на интенсивное смешивание жидкостей, произошла коалесценция. При этом дизельное топливо представляет собой внешний контур, внутри которого – мелкие и крупные капли спирта с прослойками дизельного топлива. Расслаивание по высоте незаметно, так как высота капли значительно меньше, чем по плоскости.

Сверху на каплю помещали второе предметное стекло, контур которого виден (рис. 5,б) и сдавливали. Следует отметить, что расслаивание жидкостей по высоте здесь не происходило, так как жидкости зажаты между стеклами – плоский случай, в отличие от пространственного (объемного). Видно, что придавливание предметным стеклом сверху уже разрушает границы между несмешивающимися жидкостями.

В ходе притирки (рис. 5,в) видно, что заметно уменьшилась контрастность синего цвета, что можно объяснить смешением дизельного топлива

с подкрашенным этиловым спиртом. Чистое дизельное топливо между стеклами характеризует серый фон. При этом в верхней части рисунка 5,в смешение жидкостей меньше, чем внизу.

В результате полной притирки (рис. 5,г) видно, что центральное поле однородно по тональности.

Сущность процесса заключалась в том, что сдавливание и динамическое воздействие на каплю с несмешивающимися жидкостями приводило к получению относительно однородной смеси. Силы давления и динамическое воздействие в этом процессе превышали силы поверхностного натяжения в отдельно взятых жидкостях и разрушали границы раздела между ними.

В результате появляется возможность наблюдения четкой границы света и тени (повышается надежность измерения) в пределах одного деления шкалы нониуса, что обеспечивает возможность получения значений показателя преломления с точностью до 0,001 (повышается точность измерения). Данные измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные измерения показателя преломления

Доля спирта в смеси	Разбег показателя преломления без притирки	Значение показателя преломления с притиркой
10 %	1,462-1,464	1,463
30 %	1,457-1,463	1,460
50 %	1,452-1,462	1,457



Согласно методике [9], были осуществлены замеры и расчет диэлектрической проницаемости для

топлив выбранных составов. Скорректированные данные опытов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Диэлектрическая проницаемость топлив различного состава

№ п/п	Состав топлива	Диэлектрическая проницаемость ϵ (Э), при $t=20^\circ\text{C}$	Диэлектрическая проницаемость ϵ (РМ), при $t=20^\circ\text{C}$	Диэлектрическая проницаемость ϵ (СурМ), при $t=20^\circ\text{C}$
1	90 %ДТ+10 %Э	3,05		
2	90 %ДТ+10 %РМ		2,35	
3	90 %ДТ+10 % СурМ			2,33
4	80 %ДТ+20 %Э	7,98		
5	80 %ДТ+20 %РМ		2,41	
6	80 %ДТ+20 % СурМ			2,5
7	70 %ДТ+30 %Э	27,5		
8	70 %ДТ+30 %РМ		2,54	
9	70%ДТ+30% СурМ			2,65
10	60 %ДТ+40 %Э	39,47		
11	60 %ДТ+40 %РМ		2,63	
12	60 %ДТ+40 % СурМ			2,76
13	50 %ДТ+50 %Э	45,31		
14	50 %ДТ+50 %РМ		2,72	
15	50 %ДТ+50 % СурМ			2,8

Использование полученных данных позволит уточнить ранее выполненные расчеты [10-12], а также разработать регрессии для безмоторной оценки экологических показателей работы дизеля при его работе на различных составах жидких моторных топлив.

Выводы

1. Перспективно использование нетрадиционных (электрических) свойств дизельных топлив для безмоторной оценки эксплуатационных показателей работы дизеля.

2. Предложен уточненный метод определения показателя преломления и осуществлена коррекция показателя преломления эмульсий ДТ и этанола.

3. Приведены уточненные данные экспериментальных исследований электрических свойств исследуемых составов моторных топлив.

4. Использование полученных данных позволит уточнить ранее выполненные расчеты, а также разработать регрессии для безмоторной оценки экологических показателей работы дизеля при его работе на различных составах жидких моторных топлив.

Список источников

1. Оборудование для автосервиса. Каталог. – М.: ГК «Техсервис», 2005. – 384 с.

2. Testo. Модульная измерительная система. - Каталог Глобал Экспорт ГмбХ. - М., 2004.

3. Определение взаимосвязи показателей детонационной стойкости с электродинамическими параметрами углеводородных топлив на основе

статистического моделирования компонентного состава / Б.В. Скворцов, Е.А. Силов, А.В. Солнцева // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета), 2010, № 1, с. 166 – 173. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16532927>

4. Рефракто-денсиметрический метод контроля автомобильных бензинов на соответствие нормативам Евро-4 и -5 по суммарному содержанию ароматических углеводородов и содержанию кислорода / И.И. Табрисов, Р.Б. Султанова, В.Ф. Николаев // Вестник Казанского технологического университета, 2012, № 9, с 228-232. URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17751995>

5. Рефракто-магнитооптический метод оценки эксплуатационных и теплотехнических характеристик реактивных и дизельных топлив / В.Ф. Николаев, И.Р. Кутушев, А. К. Хамедзянов // Вестник Казанского технологического университета, 2003, № 2, с 302-314. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9270100>

6. Методы определения состава и модели описания физико-химических и эксплуатационных свойств многокомпонентных смесей / В.Ф. Николаев, Р.Б. Султанова, А.И. Пеньковский, В.И. Гаврилов // Учебное пособие, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 175 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29978735>

7. Neural network prediction of cetane number and density of diesel fuel from its chemical composition



determined by lc and gc-ms / Yang H., Ring Z., Briker Y., Mclean N., Friesen W., Fairbridge C. // *Fuel*, 2002, vol. 81, No. 1, pp. 65-74. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=831119>

8. Determination of octane numbers of gasoline compounds from their chemical structure by ¹³c nmr spectroscopy and neural networks / Meusinger R., Moros R. // *Fuel*, 2001, vol. 80, No 5, pp. 613-621. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=553327>

9. Рефрактометр ИРФ-454 Б2М. Руководство по эксплуатации Г 34.15.051 РЭ.

10. Способ определения показателя преломления этанола-топливной эмульсии. // Заявка на выдачу патента РФ № 2024109423(W24021173) от

08.04.2024. /С.А. Плотников, М.В. Смольников, П.В. Гневашев, П.Я. Кантор, Г.П. Шишкин, А.В. Пляго.

11. Плотников С.А., Гневашев П.В., Шишкин Г.П., Карташевич А.Н. Зондирование составов альтернативных топлив с целью определения электрических параметров. // *Инженерные технологии и системы*, 2024. - Т. 34. - № 2. - С. 178-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=68014013>

12 Плотников С.А., Гневашев П.В., Смольников М.В., Шишкин Г.П. Идентификация максимального давления цикла безмоторным методом на основе удельной рефракции. // *Известия МГТУ «МАМИ»*, Том 17, № 4, 2023. - С. 331-337. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60047723>

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. *Oborudovanie dlya avtoservisa. Katalog.* – М.: GK «Tekhservis», 2005. – 384 s.

2. *Testo. Modul'naya izmeritel'naya sistema.* - Katalog Global' Eksport GmbH. - М., 2004.

3. *Opredelenie vzaimosvyazi pokazatelej detonacionnoj stojkosti s elektrodinamicheskimi parametrami uglevodorodnyh topliv na osnove statisticheskogo modelirovaniya komponentnogo sostava* / B.V. Skvorcov, E.A. Silov, A.V. Solnceva // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. Akademika S.P. Korolyova (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta)*, 2010, №1, s. 166 – 173. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16532927>

4. *Refrakto-densimetricheskij metod kontrolya avtomobil'nyh benzinov na sootvetstvie normativam evro-4 i -5 po summarnomu sodержaniyu aromaticeskikh uglevodorodov i sodержaniyu kisloroda* / I.I. Tabrisov, R.B. Sultanova, V.F. Nikolaev // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, № 9, s 228-232 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17751995>

5. *Refrakto-magnitoopticheskij metod ocenki ekspluatacionnyh i teplotekhnicheskikh harakteristik reaktivnyh i dizel'nyh topliv* / V.F. Nikolaev, I.R. Kutushev, A. K. Hamedzyanov // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2003, №2, s 302-314. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9270100>

6. *Metody opredeleniya sostava i modeli opisaniya fiziko-himicheskikh i ekspluatacionnyh svoystv mnogokomponentnyh smesey* / V.F. Nikolaev, R.B. Sultanova, A.I. Pen'kovskij, V.I. Gavrilov // *Uchebnoe posobie, Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tekhnologicheskij universitet*, 175 s. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29978735>

7. *Neural network prediction of cetane number and density of diesel fuel from its chemical composition determined by lc and gc-ms* / Yang H., Ring Z., Briker Y., Mclean N., Friesen W., Fairbridge C. // *Fuel*, 2002, vol. 81, No. 1, pp. 65-74. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=831119>

8. *Determination of octane numbers of gasoline compounds from their chemical structure by ¹³c nmr spectroscopy and neural networks* / Meusinger R., Moros R. // *Fuel*, 2001, vol. 80, No 5, pp. 613-621. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=553327>

9. Рефрактометр ИРФ-454 Б2М. Рукoвoдствo пo экcплуaтaции Г 34.15.051 РЕ.

10. *Sposob opredeleniya pokazatelya prelomleniya etanola-toplivnoj emul'sii.* // *Zayavka na vydachu patenta RF № 2024109423(W24021173) ot 08.04.2024.* /S.A. Plotnikov, M.V. Smol'nikov, P.V. Gnevashev, P.Ya. Kantor, G.P. Shishkin, A.V. Plyago.

11. Plotnikov S.A., Gnevashev P.V., Shishkin G.P., Kartashevich A.N. Zondirovanie sostavov al'ternativnyh topliv s cel'yu opredeleniya elektricheskikh parametrov. // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*, 2024. - Т. 34. - № 2. - С. 178-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=68014013>

12. Plotnikov S.A., Gnevashev P.V., Smol'nikov M.V., Shishkin G.P. Identifikaciya maksimal'nogo davleniya cikla bezmotornym metodom na osnove udel'noj refrakcii. // *Izvestiya MGTU «МАМИ»*, Том 17, № 4, 2023. - С. 331-337. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60047723>

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

Плотников Сергей Александрович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», PlotnikovSA@bk.ru



Смольников Михаил Владимирович, канд. техн. наук, ст. препод. кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», mihail.mai@mail.ru

Гневашев Павел Вячеславович, аспирант кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», pasha-moon@mail.ru

Стародумов Михаил Александрович, аспирант кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», starodumov_99@mail.ru

Карташевич Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры тракторов, автомобилей и машин для рационального природопользования, ФГБОУ ВО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Kartashevich@yandex.ru

Author Information

Plotnikov Sergey A., Doctor of Technical Sciences, the Professor of Chair of Technology of Mechanical Engineering, Vjatsky state university, PlotnikovSA@bk.ru

Smolnikov Mikhail V., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University, mihail.mai@mail.ru

Gnevashev Pavel V., Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University, pasha-moon@mail.ru

Starodumov, Mikhail A., Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University, starodumov_99@mail.ru

Kartashevich Anatoly N., Doctor of Technical Sciences, the Professor of the Department of Tractors, Cars and Machines for Environmental Management, Belarusian State Agricultural Academy, Kartashevich@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 05.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 06.02.2025; approved after reviewing 05.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 31.363.258/638.171
DOI: 10.36508/RSATU.2025.79.66.023

ИССЛЕДОВАНИЕ ОЧИСТКИ СУШИ СОТОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Александр Владимирович Шемякин¹, Дмитрий Евгеньевич Каширин²✉, Виктор Вячеславович Павлов³, Дмитрий Владимирович Куракин⁴, Алексей Николаевич Алексеев⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ university@rgatu.ru

² kadm76@mail.ru

³ pavlov.rgatu@mail.ru

⁴ kurakind@internet.ru

⁵ qwe20qw@mail.ru

Аннотация

Проблема и цель. Восковое сырьё, используемое в различных отраслях, таких как косметика, пищевая промышленность, фармацевтика и производство свечей, часто содержит нежелательные примеси. Эти примеси могут включать прополис, пыль и другие органические или неорганические загрязнители. Наличие таких загрязнителей может негативно сказываться на качестве конечного продукта, его безопасности и сроке хранения. Кроме того, многие технологические процессы требуют высококачественного воска, что создает дополнительные требования к производителям в части его очистки.

Методология. Для разработки оборудования эффективной очистки воскового сырья необходимо определить параметры качественной обработки загрязненных сот. В данном опыте были рассчитаны основные характеристики, которые оказывают непосредственное влияние на качество продукта после обработки.

Результаты. В результате проделанной работы были определены основные виды примесей, которые содержатся в восковых сотах, и описано их влияние на качество конечного продукта. Была разработана лабораторная установка, с помощью которой производится очистка воскового сырья, а также получена математическая модель зависимости оставшихся загрязнений в ячейках сот от времени вымачивания и времени перемешивания посредством предложенной установки.

Заключение. Восковые соты, которые находятся в непригодном состоянии для использования в пчеловодстве, имеют большое количество загрязнений, которые при переработке оказывают серьезное влияние на качество готовой продукции. Заранее не очищенное сырье существенно теряет свое качество в процессе вытопки, количество готового продукта при этом уменьшается. Анализ результатов полученной математической модели подтвердил эффективность данного метода удаления загрязнений из ячеек восковых сот.

Ключевые слова: воск, восковое сырьё, загрязнения сотов, очистка воскового сырья, перга

Для цитирования: Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Павлов В.В., Куракин Д.В., Алексеев А.Н. Исследование очистки суши сотов от органических загрязнений в водной среде // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.171-178 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.79.66.023>

Original article

INVESTIGATION OF THE PURIFICATION OF DRY HONEYCOMBS FROM ORGANIC POLLUTANTS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

Alexander V. Shemyakin¹, Dmitry E. Kashirin²✉, Viktor V. Pavlov³, Dmitry V. Kurakin⁴, Alexey N. Alekseev⁵

^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

¹ university@rgatu.ru² kadm76@mail.ru³ pavlov.rgatu@mail.ru⁴ kurakind@internet.ru⁵ qwe20qw@mail.ru

Abstract

Problem and purpose. Wax raw materials used in various industries such as cosmetics, food, pharmaceuticals and candle production often contain unwanted impurities. These impurities may include beeswax residues, propolis, dust and other organic or inorganic contaminants. The presence of such contaminants can negatively affect the quality of the final product, its safety and shelf life. In addition, many technological processes require high-quality wax, which creates additional requirements for manufacturers in terms of its purification.

Methodology. To develop equipment for efficient cleaning of wax raw materials, it is necessary to determine the parameters of high-quality processing of contaminated honeycombs. In this experiment, the main characteristics that directly affect the quality of the product after processing were calculated.

Results. As a result of the work done, the main types of impurities contained in wax honeycombs were determined and their influence on the quality of the final product was described. A laboratory installation was developed, with the help of which wax raw materials are purified, and a mathematical model of the dependence of the remaining contaminants in the honeycomb cells on the soaking time and mixing time using the proposed installation was obtained.

Conclusion. Wax honeycombs that are unsuitable for use in beekeeping have a large amount of contaminants, which during processing have a serious impact on the quality of the finished product. Raw materials that are not cleaned in advance significantly lose their quality during the melting process, and the amount of the finished product decreases. Analysis of the results of the obtained mathematical model confirmed the effectiveness of this method for removing contaminants from the cells of wax honeycombs.

Key words: wax, wax raw material, honeycomb contamination, cleaning of wax raw material, bee bread

For citation: Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Pavlov V.V., Kurakin D.V., Alekseev A.N. Investigation of the purification of dry honeycombs from organic pollutants in the aquatic environment // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 1, P.171-178 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.79.66.023>

Введение

Воск играет важную роль в пчеловодстве и промышленном производстве, имея широкий спектр применений. По основному элементному составу воск содержит около 80 % углерода, 13 % водорода, 7 % кислорода. Он является основным материалом для создания пчелиных сотов, который служит жильем для пчел и местом хранения меда и пыльцы. Кроме того, воск используется для изготовления свечей, косметических продуктов, лаков и других товаров [1, 2]. Тем не менее, большая часть воска, производимого на пасеках, используется для восстановления сотового хозяйства самих пчел, что приводит к постоянному дефициту его поставок в промышленности [3-10]. Увеличение производства товарного воска является насущной задачей для пчеловодов.

В настоящее время основным способом получения воска является перетопка старых сотов, непригодных для дальнейшего использования в пчеловодстве. Отработанная восковая сушь в абсолютном большинстве случаев загрязнена различными органическими веществами и прочим мусором. Как правило, на одну чистую ячейку приходится пять загрязненных [6-8]. Кроме того, воск на многократно использованных сотовых рамках со временем темнеет, что также оказывает негативное влияние на качество общей массы вытапливаемого воскового сырья.

Поскольку восковая сушь после использования в пчеловодстве имеет большое количество загрязненных ячеек, перед переработкой подготовленное восковое сырье необходимо предварительно очистить. Очищенное сырье значительно повышает выход воска после перетопки. Так, например,

каждый процент перги, отнесенный к объему ячеек сотов, понижает восковитость сырья приблизительно на 2,5 %. Кроме перговых загрязнений, в ячейках также присутствуют другие органические и неорганические загрязнения, которые при наличии в сырье также снижают общее качество готового продукта и его выход [5-8].

Органические включения, которые находятся по большей части в ячейках сотов, в процессе перетопки проникают в воск, существенно снижая качество вытапливаемого продукта. Так как после получения застывшей восковой массы извлечение гигроскопичных загрязнений невозможно, большое количество продукта остается в отходах [9-18].

Обобщив опыт многих ученых пчеловодов, можно заключить, что целесообразно извлекать органические загрязнения из старых сотов перед тепловой переработкой – перетопкой.

Цель исследований заключается в определении рациональных условий удаления загрязнений из воскового сырья путем его очистки в водной среде.

Материалы и методы исследований

Предварительные исследования показывают, что наиболее значимое влияние на процесс удаления загрязнений из воскового сырья путем его очистки в водной среде оказывают следующие факторы:

- продолжительность пребывания сырья в воде (длительность вымачивания);
- продолжительность его последующего перемешивания.

Из априорных данных были установлены границы варьирования факторов, приведенные в таблице 1.



Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

№ п/п	Фактор	Ед. изм	Обознач.	Уровни			Интервал
				-1	0	1	
1	Время вымачивания	час	X ₁	0	6	12	6
2	Время перемешивания	мин	X ₂	1	6	11	5

В качестве критерия оптимизации был выбран процент загрязнений, оставшихся в соте после очистки:

$$P_{\%} = \frac{m_{\text{выс}} - m_{\text{очищ}}}{m_{\text{сот}} - m_{\text{очищ}}} \cdot 100 \quad (1)$$

где $m_{\text{сот}}$ – начальная масса образца (куска сотов), г;

$m_{\text{выс}}$ – масса высушенного образца после вымачивания и перемешивания, г;

$m_{\text{очищ}}$ – масса высушенного образца после вымачивания и перемешивания, полностью очищенного от включений вручную, г.

В ходе статистического анализа критерий оптимизации должен быть минимизирован.

Для установления совместного влияния выбранных факторов на критерий оптимизации была

изготовлена лабораторная установка, схема которой представлена на рисунке 1.

Установка состоит из следующих элементов (рис. 1). Электрический привод 3 закреплен на специальной раме 4 и приводит в движение вал 5, на котором закреплена специальная насадка-мешалка 6 с вымачиваемым сырьем в специальной съемной ванне 7, создавая воронку, для того чтобы соты постоянно были погружены в воду. Электропривод 3 подключен в электрическую сеть 220 В, в которую включены прибор измерения характеристик электрической сети 1 и регулятор частоты вращения 2. При помощи этого оборудования можно управлять скоростью перемешивания и фиксировать значения потребляемой мощности. Общий вид установки и ее элементы представлены на рисунке 2.

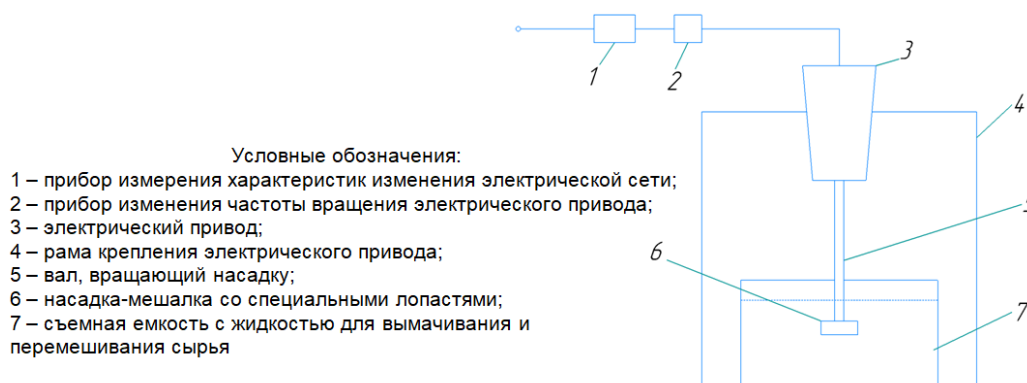
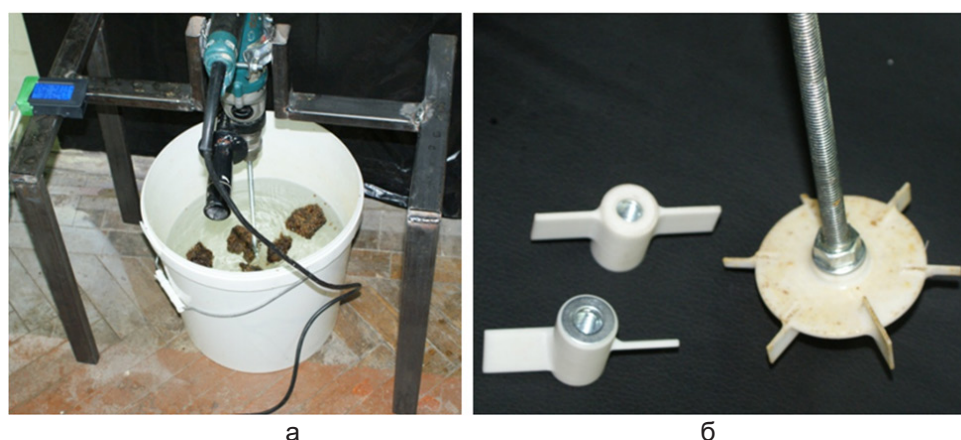


Рис. 1 – Схема лабораторной установки
Fig. 1 – Laboratory setup diagram



а – общий вид установки во время проведения опыта; б – используемые насадки-мешалки

Рис. 2 – Лабораторная установка для очистки воскового сырья

а – general view of the setup during the experiment; б – used stirrer attachments

Fig. 2 – Laboratory setup for cleaning wax raw materials



а – пчелиные соты в рамках, содержащие значительное количество загрязнений;

б – сформированные экспериментальные навески сотов

Рис. 3 – Подготовка суши сотов к проведению эксперимента

a – honeycombs in frames containing a significant amount of contaminants; b – formed experimental honeycomb samples

Fig. 3 – Preparation of dry honeycombs for the experiment

Опыты проводили следующим образом. Из заранее заготовленных загрязненных сотов (рис. 3-а) формировали экспериментальные навески в виде прямоугольников и квадратов со сторонами 100-150 мм (рис. 3-б). Экспериментальные навески помещали в емкость с водой при температуре 15-18° С и выдерживали в соответствии с планом проведения опытов заданный промежуток времени. Затем лабораторную установку приводили в действие, устанавливая необходимую частоту оборотов. Контроль параметров осуществляли по прибору измерения характеристик электрической сети. Под вращением крыльчатки рабочего вала образовывалось движение жидкости в емкости с загруженными в нее кусками сотов. При воздействии на куски сотов водяных потоков происходило отделение загрязнений от ячеек и переход их в водную среду. Продолжительность механического воздействия на экспериментальные навески устанавливали в соответствии с таблицей 1. По истечении отмеренного времени установку отключали и извлекали очищенные куски сотов, которые размещали на марле для отхода основной влаги от них и помещали затем на 48 часов в лабораторный сушильный шкаф с установленной температурой внутри на уровне 40-45° С. При этом остатки влаги с поверхности сотов удалялись, а остатки загрязнений утрачивали свою влажность до начального уровня, составляющего 15-17 %. Далее куски подвергали взвешиванию на весах с точностью до одной сотой грамма. Оставшиеся в ячейках сотов загрязнения удаляли вручную с использованием простейших механических приспособлений. Полностью очищенное восковое сырье подвергали повторному взвешиванию. Результаты заносили в таблицу. Опыты проводили с шестикратной повторностью.

Результаты исследований и их обсуждения

Статистическая обработка полученных опытных данных позволила установить эмпирическую

модель, описывающую процессы, происходящие в исследуемом факторном пространстве.

Уравнение регрессии, описывающее зависимость критерия оптимизации – процента оставшихся в сотах загрязнений $P\%$ от времени замачивания (X_1) и времени перемешивания (X_2) после исключения незначущих эффектов представлено квадратичным полиномом:

$$P_{\%}(X_1, X_2) = 96,75 - 10,46 \cdot X_1 - 3,28 \cdot X_2 + 0,64 \cdot X_1^2 \quad (2)$$

Полученная зависимость (2) представлена графически на рисунке 4.

Оба фактора значимо влияют на исследуемый процесс. Эффекты при X_1X_2 и X_2^2 оказались незначимыми по t-критерию (критерию Стьюдента) с доверительной вероятностью 0,95. По G-критерию (критерию Кохрена) дисперсии однородны, воспроизводимость опытов хорошая. Модель адекватна по F-критерию (критерию Фишера). Расчетное значение F-критерия не превышает критическое на уровне значимости 0,05:

$$(F = 0,804) < (F_{кр} = 2,422)$$

Оптимизация результатов в программе MathCad 15.0 позволила определить значения факторов, устремляющие к минимуму критерий оптимизации:

$$P_{\%min}(8,12; 11,00) = 18,25 \%$$

Таким образом, функция отклика – процент оставшихся в сотах загрязнений – достигает минимального значения 18,25 % при времени замачивания 8,12 часа и времени перемешивания 11 минут.

Результаты эксперимента позволили определить, что продолжительность замачивания 8 часов является достаточной, а оптимальное значение времени перемешивания 11 минут находится на границе факторного пространства.

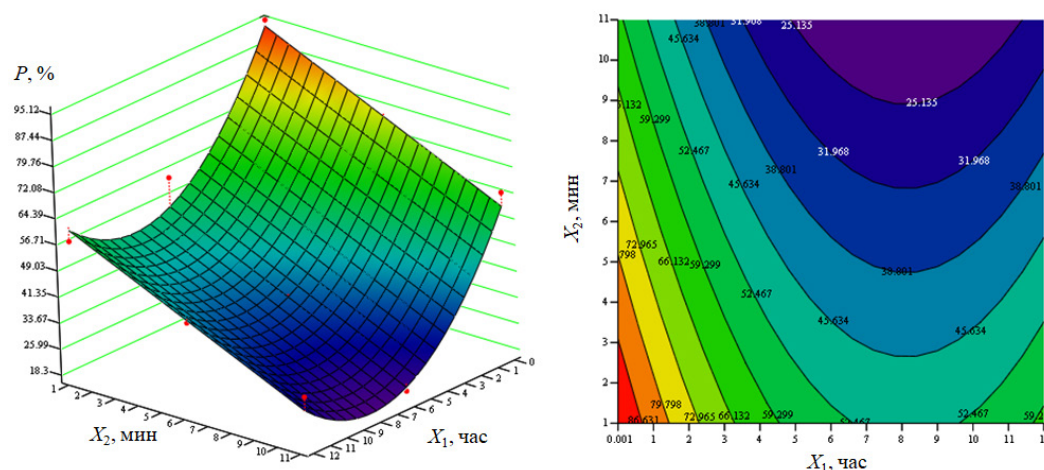


Рис. 4 – Зависимость процента оставшихся в сотах загрязнений $P\%$ от времени замачивания (X_1 , час) и времени перемешивания (X_2 , мин)

Fig. 4 – Dependence of the percentage of contaminants remaining in the honeycombs $P\%$ on the soaking time (X_1 , hour) and mixing time (X_2 , min)

Заключение

Анализ результатов проведенного исследования показал, что предложенный способ очистки воскового сырья является эффективным. После выполнения всех этапов эксперимента соты имеют высокую степень очистки, а значит, при вытопке качество воска увеличится. Из оптимизации результатов следует, что оптимальные значения факторов (времени замачивания – 8 часов и времени перемешивания – 11 минут) обеспечивают минимальный остаток загрязнений в сотах в пределах 18 %.

Список источников

1. К вопросу обоснования рациональных условий очистки воскового сырья в воде при интенсивном механическом перемешивании / Д. Е. Каширин, И. А. Успенский, В. В. Павлов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 87-91. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.015. – EDN XWUUCS.
2. Исследование производительности процесса вибрационной очистки пчелиных сот / А. В. Шемякин, С. Н. Борычев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 9(174). – С. 192-199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.
3. Максимов, Н. М. К вопросу охлаждения пасечного воска после перетопки воскосырья / Н. М. Максимов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : Сборник докладов XV Международной научно-практической конференции, Великие Луки, 09–10 апреля 2020 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 127-131. – EDN ESJJBP.
4. Максимов, Н. М. Теоретическое обоснование работы воскопресса "Лисица" при отжиме воска из мервы / Н. М. Максимов, Н. В. Никифоров // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 97-99. – DOI 10.36508/

RSATU.2020.45.1.017. – EDN LBZUCN.

5. Максимов, Н. М. Об эффективности использования воскопресса "лисица" при перетопке воска на пасеке / Н. М. Максимов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2(31). – С. 44-50. – EDN SYUIJA.

6. Каширин, Д. Е. Обоснование параметров электронагревательной установки для пчелиных ульев / Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, К. Е. Гобелев // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 1(10). – С. 139-144. – EDN OMWZCZ.

7. Максимов, Н. М. Исследование качественных показателей пасечного воска / Н. М. Максимов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3(32). – С. 48-54. – EDN JROVGE.

8. Павлов, В. В. Обоснование параметров устройства очистки воскового сырья : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Павлов Виктор Вячеславович, 2021. – 157 с. – EDN LXRRNN.

9. К расчету глубины элементарной трещины восковой основы в зависимости от частоты и мощности / А. Н. Алексеев, Д. Е. Каширин, А. В. Шемякин, А. В. Протасов // Инженерные решения для АПК : Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 84-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина (1939-2007), Рязань, 16–17 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 58-61. – EDN PVAAMF.

10. Алексеев, А. Н. О классификации воскового сырья / А. Н. Алексеев, Д. Е. Каширин, А. В. Протасов // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : Материалы Международной научно-практической конферен-



ции, посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В., Рязанский государственный агротехнологический университет, 07–09 декабря 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 191–193. – EDN BYOBP.

11. Исследование производительности процесса вибрационной очистки пчелиных сотов / А. В. Шемякин, С. Н. Бoryчев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 9(174). – С. 192–199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.

12. Аналитическое обоснование рационального режима вибрационного воздействия на пчелиные соты / А. В. Шемякин, С. Н. Бoryчев, Д. Е. Каширин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 142–147. – DOI 10.36508/RSATU.2021.50.2.020. – EDN TDNMXQ.

13. Бышов, Д. Н. К вопросу очистки воскового сырья: модель процесса диспергирования органических загрязнений / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 3(47). – С. 84–88. – DOI 10.36508/RSATU.2020.59.83.015. – EDN BFFHNC.

14. Анисина, О. С. Учебно-методическое пособие для студентов-заочников по изучению дисциплины «Технология меда и продуктов пчеловодства» и выполнению контрольных работ (программа бакалавриата 35.03.07. – «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» Профиль: Технология производ-

ства, хранения и переработки продукции животноводства : учебно-методическое пособие / О. С. Анисина. — Казань : КГАВМ им. Баумана, 2019. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129422>

15. Красочко, П. А. Технология продуктов пчеловодства и их применение : учебник для вузов / П. А. Красочко, Н. Г. Еремия ; под редакцией П. А. Красочко. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 660 с. — ISBN 978-5-8114-8533-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/208493>

16. Кривцов, Н. И. Пчеловодство / Н. И. Кривцов, В. И. Лебедев, Г. М. Туников. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 388 с. — ISBN 978-5-507-45268-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/263048>

17. Оценка эффективности использования различных способов получения меда / Р. А. Мамонов, Н. А. Грунин, Н. Б. Нагаев, Г. Н. Макаров // Инновационные инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 28 марта 2024 года. — Рязань: РГАТУ, 2024. — С. 110–117. — EDN VKXHDT.

18. Эффективность использования 3D печати предприятиями АПК / Н. Б. Нагаев, М. Ю. Скороходов, Г. Н. Макаров, А. С. Малянов // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности : материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года. — Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. — С. 151–158. — EDN GBPOYE.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. K voprosu obosnovaniya racional'nyh uslovij ochistki voskovogo syr'ya v vode pri intensivnom mekhanicheskom peremeshivanii / D. E. Kashirin, I. A. Uspenskij, V. V. Pavlov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 87–91. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.015. – EDN XWUUCS.

2. Issledovanie proizvoditel'nosti processa vibracionnoj ochistki pchelinyh sotov / A. V. SHemyakin, S. N. Borychev, D. E. Kashirin [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2021. – № 9(174). – S. 192–199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.

3. Maksimov, N. M. K voprosu ohlazhdeniya pasechnogo voska posle peretopki voskosyr'ya / N. M. Maksimov // Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve : Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Velikie Luki, 09–10 aprelya 2020 goda. – Velikie Luki: Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 127–131. – EDN ESJJB.

4. Maksimov, N. M. Teoreticheskoe obosnovanie raboty voskopressa "Lisica" pri otzhime voska iz mervy / N. M. Maksimov, N. V. Nikiforov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 97–99. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.017. – EDN LBZUCN.

5. Maksimov, N. M. Ob effektivnosti ispol'zovaniya voskopressa "lisica" pri peretopke voska na paseke / N. M. Maksimov // Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 2(31). – S. 44–50. – EDN SYUIJA.

6. Kashirin, D. E. Obosnovanie parametrov elektronagrevatel'noj ustanovki dlya pchelinyh ul'ev / D. E. Kashirin, V. V. Pavlov, K. E. Gobelev // Vestnik Soveta molodyh uchenyh Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(10). – S. 139–144. – EDN OMWZCZ.



7. Maksimov, N. M. Issledovanie kachestvennykh pokazatelej pasechnogo voska / N. M. Maksimov // *Izvestiya Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. – 2020. – № 3(32). – S. 48-54. – EDN JROVGE.
8. Pavlov, V. V. Obosnovanie parametrov ustrojstva ochistki voskovogo syr'ya : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskix nauk / Pavlov Viktor Vyacheslavovich, 2021. – 157 s. – EDN LXRRNN.
9. K raschetu glubiny elementarnoj treshchini voskovoju osnovy v zavisimosti ot chastyoty i moshchnosti / A. N. Alekseev, D. E. Kashirin, A. V. SHemyakin, A. V. Protasov // *Inzhenernye resheniya dlya APK : Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 84-letiyu so dnya rozhdeniya professora Anatoliya Mihajlovicha Lopatina (1939-2007), Ryazan', 16–17 noyabrya 2023 goda*. – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2023. – S. 58-61. – EDN PVAAMF.
10. Alekseev, A. N. Oklassifikacii voskovogo syr'ya / A. N. Alekseev, D. E. Kashirin, A. V. Protasov // *Kompleksnyj podhod k nauchno-tekhnicheskomu obespecheniyu sel'skogo hozyajstva : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyatichlenu-korrespondenta RASKHN i NANKR akademika MAEP i RAVN Bochkareva YA.V., Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet, 07–09 dekabrya 2023 goda*. – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet, 2024. – S. 191-193. – EDN BYROBP.
11. Issledovanie proizvoditel'nosti processa vibracionnoj ochistki pchelinyh sotov / A. V. SHemyakin, S. N. Borychev, D. E. Kashirin [i dr.] // *Vestnik KrasGAU*. – 2021. – № 9(174). – S. 192-199. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-9-192-199. – EDN OKGVJD.
12. Analiticheskoe obosnovanie racional'nogo rezhima vibracionnogo vozdejstviya na pchelinye soty / A. V. SHemyakin, S. N. Borychev, D. E. Kashirin [i dr.] // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2021. – T. 13, № 2. – S. 142-147. – DOI 10.36508/RSATU.2021.50.2.020. – EDN TDNMXQ.
13. Byshov, D. N. K voprosu ochistki voskovogo syr'ya: model' processa dispergirovaniya organicheskix zagryaznenij / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2020. – № 3(47). – S. 84-88. – DOI 10.36508/RSATU.2020.59.83.015. – EDN BFFHHC.
14. Anisina, O. S. Uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov-zaochnikov po izucheniyu discipliny «Tekhnologiya meda i produktov pchelovodstva» i vypolneniyu kontrol'nyh rabot (programma bakalavriata 35.03.07. - «Tekhnologiya proizvodstva i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii» Profil': Tekhnologiya proizvodstva, hraneniya i pererabotki produkcii zhivotnovodstva : uchebno-metodicheskoe posobie / O. S. Anisina. – Kazan': KGAVM im. Bauman, 2019. – 40 s. – Tekst : elektronnyj // Lan' : elektronno-bibliotecnaya sistema. – URL: <https://e.lanbook.com/book/129422>
15. Krasochko, P. A. Tekhnologiya produktov pchelovodstva i ih primeneniye : uchebnyj dlya vuzov / P. A. Krasochko, N. G. Eremya ; pod redakciej P. A. Krasochko. – Sankt-Peterburg : Lan', 2022. – 660 s. – ISBN 978-5-8114-8533-8. – Tekst : elektronnyj // Lan' : elektronno-bibliotecnaya sistema. – URL: <https://e.lanbook.com/book/208493>.
16. Krivcov, N. I. Pchelovodstvo / N. I. Krivcov, V. I. Lebedev, G. M. Tunikov. – 6-e izd., ster. – Sankt-Peterburg : Lan', 2022. – 388 s. – ISBN 978-5-507-45268-2. – Tekst : elektronnyj // Lan' : elektronno-bibliotecnaya sistema. – URL: <https://e.lanbook.com/book/263048>.
17. Ocenka effektivnosti ispol'zovaniya razlichnyh sposobov polucheniya meda / R. A. Mamonov, N. A. Grunin, N. B. Nagaev, G. N. Makarov // *Innovacionnye inzhenernye resheniya dlya APK : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ryazan', 28 marta 2024 goda*. – Ryazan': RGATU, 2024. – S. 110-117. – EDN VKXHDT.
18. Effektivnost' ispol'zovaniya 3D pechati predpriyatiyami APK / N. B. Nagaev, M. YU. Skorohodov, G. N. Makarov, A. S. Malyanov // *Nauchnye priority v APK: vyzovy sovremennosti : materialy 75-j yubilejnoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ryazan', 25 aprelya 2024 goda*. – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2024. – S. 151-158. – EDN GBPOYE.

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

Шемякин Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Каширин Дмитрий Евгеньевич, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kadm76@mail.ru

Алексеев Алексей Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», qwe20qw@mail.ru



Павлов Виктор Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», pavlov.rgatu@mail.ru

Куракин Дмитрий Владимирович, старший лаборант кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kurakind@internet.ru

Author Information

Shemyakin Aleksandr V., Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, university@rgatu.ru

Kashin Dmitry E., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kadm76@mail.ru

Alekseev Aleksey N., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, qwe20qw@mail.ru

Pavlov Viktor V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pavlov.rgatu@mail.ru

Kurakin Dmitry Vladimirovich, Senior Laboratory Assistant, Department of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kurakind@internet.ru

Статья поступила в редакцию 24.12.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 24.12.2024; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 12.03.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.123
DOI: 10.36508/RSATU.2025.68.61.024

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ТЯЖЁЛОЙ ДИСКОВОЙ БОРОНЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ

Сергей Васильевич Щитов¹, Зоя Фёдоровна Кривуца²✉, Елена Сергеевна Поликутина³,
Сергей Николаевич Воякин⁴, Владимир Викторович Леонов⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», Благовещенск,
Россия

¹ shitov.sv1955@mail.ru.

² zfk20091@mail.ru.

³ e.polikytina@mail.ru

⁴ vsn177@yandex.ru

⁵ leonovvladimir@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Невозможность подготовки почвы к посевным работам связана с поздними сроками уборки сои с наступлением заморозков. В связи с этим целесообразно данную технологическую операцию проводить одновременно с посевными работами при ограниченных сроках. Цель исследований – расширение функциональных возможностей бороновального машинно-тракторного агрегата (МТА) за счёт использования корректора-распределителя сцепного веса.

Методология. Методы проводимых исследований основываются на анализе существующих способов повышения нагрузки на рабочие органы дисковых борон и ведущие движители энергетического средства. Теоретические методы проводимых исследований базируются на основе использования методов теоретической и прикладной механики. Для проверки работоспособности предлагаемого почвообрабатывающего агрегата, включающего в себя трактор и тяжёлую дисковую борону с установленным устройством, способным регулировать нагрузочные характеристики, были намечены этапы исследований: выявить влияние предлагаемого устройства на изменения нагрузки в гибкой тросовой связи, создаваемой изменением длины выхода штока гидроцилиндра, с использованием весов ВК-5000; определить влияние предлагаемого устройства «Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата» на перераспределение нагрузки в МТА с использованием платформенных электронных весов.

Результаты. Изменение нагрузки в гибкой тросовой части можно регулировать длиной выхода штока гидроцилиндра относительно нейтрального положения (длина выхода штока гидроцилиндра 0,24 м). С уменьшением длины выхода относительно нейтрального положения штока гидроцилиндра увеличивается нагрузка на ведущие мосты трактора. При увеличении длины выхода относительно нейтрального положения штока гидроцилиндра возрастает нагрузка на борону. Предлагаемое устройство позволяет регулировать частичное перераспределение нагрузки в МТА.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования почвообрабатывающего машинно-тракторного агрегата, включающего в себя трактор и тяжёлую дисковую борону с установленным устройством показали, что изменение усилия, создаваемого гидроцилиндром в гибкой тросовой связи, дает возможность изменять нагрузочные характеристики на движитель трактора и рабочий орган бороны.

Ключевые слова: трактор, почвы, нагрузка, ведущие мосты, буксование, глубина колеи, тягово-сцепные свойства

Для цитирования: Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Воякин С.Н., Леонов В.В. Результаты исследований работы модернизированной тяжёлой дисковой бороны при подготовке почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №1, С.179-185 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.68.61.024>



RESULTS OF WORK STUDIES OF MODERNIZED HEAVY DISC HARROW DURING SOIL PREPARATION

Sergey V. Shchitov¹, Zoya F. Krivutsa²✉, Elena S. Polikutina³, Sergey N. Voyakin⁴, Vladimir V. Leonov⁵^{1,2,3,4,5} Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia¹ shitov.sv1955@mail.ru.² zfk20091@mail.ru.³ e.polikutina@mail.ru⁴ vsn177@yandex.ru⁵ leonovvladimir@mail.ru**Abstract**

Problem and purpose. The impossibility of preparing the soil for sowing work is associated with the late timing of soybean harvesting with the onset of frost. This leads to the fact that this technological operation must be carried out simultaneously with sowing operations with limited terms. The purpose of the study is to extend the capabilities of the boron machine tractor unit (MTU) through the use of a coupling weight compensation distributor.

Methodology. The research methodology is based on an analysis of existing methods of increasing the load on the disc harrow work body and the energy facility drive propeller. Theoretical methods of research are based on the use of methods of theoretical and applied mechanics. To check the serviceability of the proposed boron machine-tractor unit with the installed device "Corrector-distributor of the coupling weight of the boron machine-tractor unit," it is necessary to perform the following steps. Identify the effect of the proposed device on the changes in the load in the flexible cable connection created by changing the length of the hydraulic cylinder rod outlet using VK-5000 weights. Determine the impact of the proposed device "Corrector-distributor of the coupling weight of the boron machine-tractor unit" on the redistribution of the load in the MTU using platform electronic scales.

Results. Load variation in flexible cable part can be adjusted by length of hydraulic cylinder rod outlet relative to neutral position (length of hydraulic cylinder rod outlet is 0.24 m). As the length of the outlet decreases relative to the neutral position of the hydraulic cylinder rod, the load on the tractor drive axles increases. When the output length increases relative to the neutral position of the hydraulic cylinder rod, the load on the harrow increases. Proposed device makes it possible to regulate partial redistribution of load in MTU.

Conclusion. The proposed device "compensating distributor for coupled weight of harrow machine-tractor unit" due to the change of load on the flexible cable allows to add partial load to the drive shaft of a tractor with harrow or articulated frame in a short time.

Key words: tractor, soils, load, driving axles, slipping, track depth, traction and coupling properties

For citation: Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Polikutina E.S., Voyakin S.N., Leonov V.V. Results of work studies of modernized heavy disc harrow during soil preparation // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1, P.179-185 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.68.61.024>

Введение

Имеющийся набор дисковых борон, выпускаемых промышленностью, имеет одну особенность – недостаточная приспособленность к условиям эксплуатации в различных регионах и на почвах с разнообразными физико-механическими свойствами. Адаптация к условиям эксплуатации в различных регионах предусматривает возможность выполнения работ с рекомендуемым классом тяги трактора. Адаптация к физико-механическим свойствам почвы региона предусматривает возможность обеспечения должного качества работ [1-3]. В связи с этим возникает острая необходимость адаптации выпускаемых борон к конкретно взятому региону. В Амурской области адаптация тяжёлых дисковых борон направлена на возможность регулирования нагрузки в машинно-тракторном агрегате:

- на ведущие движители трактора;
- на рабочие органы самого бороно-

вального агрегата.

Это обусловлено тем, что область имеет специфические особенности, заключающиеся в том, что подготовка почвы под посевные работы проводится в весенний период одновременно с посевом. В осенний период данную работу выполнить не представляется возможным в связи с поздним окончанием уборки фирменной культуры Амурской области – сои. В связи с низкими отрицательными температурами в зимний период (ниже -40 градусов по Цельсию) почва промерзает на большую глубину, а наличие снежного покрова вносит свои коррективы на начало весенних полевых работ. С наступлением положительных температур происходит таяние снега с одновременным выпадением осадков, что приводит к перенасыщению верхнего слоя влагой. Одновременно происходит таяние мерзлотного основания, причём неравномерно по всему полю из-за расположения поверхности к горизонту. Это приводит к тому, что встречаются



переувлажнённые участки с наличием мерзлотного основания [4-5]. В этих условиях подготовку почвы к посевным работам в основном проводят безотвальным способом с использованием тяжёлых дисковых борон. В связи с этим возникает необходимость корректировать нагрузку:

– при недостаточных тягово-сцепных возможностях энергетического средства (колёсного трактора) из-за наличия мерзлотного основания

перераспределять частично нагрузку с тяжёлой дисковой бороны;

– при наличии не оттаявшего участка (как правило шириной до 10 метров) добавлять нагрузку на рабочие органы бороновального агрегата.

Более подробно необходимость перераспределения нагрузки в бороновальном машинно-тракторном агрегате (МТА) приведена на рисунке 1.



Рис. 1 – Необходимость перераспределения нагрузки в бороновальном машинно-тракторном агрегате (МТА)

Fig. 1 – The need to redistribute the load in a harrowing machine-tractor unit (MTU)

Анализ схемы, приведённой на рисунке 1, позволяет сделать следующие выводы:

– необходимость перераспределения нагрузки на рабочие органы тяжёлой дисковой бороны:

- повышенная твёрдость почвы от предыдущей культуры;

- наличие участков, недостаточно оттаявших на глубину обработки.

– необходимость перераспределения нагрузки на ведущие мосты колёсного трактора с шарнирно-сочленённой рамой:

- недостаточность тягово-сцепных возможностей;

- догрузка заднего моста трактора;

- разгрузка переднего моста трактора;

- снижение техногенного воздействия на почву;

- снижение уплотнения почвы по следу движителей;

- снижение твёрдости почвы по следу движителей;

- снижение глубины колеи после прохода трактора по полю.

С учетом вышесказанного возникает необходимость модернизации бороновального машинно-тракторного агрегата для специфических особенностей Амурской области за счёт нового технического решения. В связи с этим было разработано и апробировано в реальных условиях экс-

плуатации устройство, позволяющее изменять нагрузочные характеристики на движитель трактора и рабочий орган бороны в процессе проведения работ, связанных с подготовкой почвы под посев [6]. В данной работе нашли отражение результаты проведенных экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации.

Цель исследований – расширение функциональных возможностей бороновального МТА за счёт использования корректора-распределителя сцепного веса.

Задачи исследований:

– выявить влияние предлагаемого устройства формирования нагрузки внутри МТА;

– экспериментально проверить влияние предлагаемого устройства на эксплуатационные показатели бороновального МТА.

Материал и методы исследований

Для реализации поставленной цели и задач проведены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации на полях КФХ «Жуковин» Амурской области. При проведении экспериментальных исследований при решении поставленных задач за основу были взяты следующие методики, предусмотренные ГОСТами: выявить влияние предлагаемого устройства формирования нагрузки внутри МТА:

– ГОСТ 7057-2001. «Тракторы сельскохозяй-

ственные. Методы испытаний»;

- экспериментально проверить влияние предлагаемого устройства на эксплуатационные показатели бороновального МТА.

- ГОСТ Р 54784-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров».

Наряду с этим при проверке качества выполнения работ, связанных с подготовкой почвы, учитывались требования ГОСТ 26244-84 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения».

При проведении исследований в качестве объектов были взяты:

- МТА серийной комплектации (трактор + БДТ-7);

- МТА экспериментальной комплектации (трактор + БДТ-7 + устройство) (рис. 2).



Рис. 2 – Общий вид экспериментального МТА (вид сверху)

Fig. 2 – General view of the experimental MTA (top view)

Экспериментальные исследования сводились к определению следующих параметров с использованием оборудования:

- определение нагрузки в гибкой тросовой связи осуществлялось с помощью весов ВК-5000;

- определение нагрузки, приходящейся на рабочие органы бороны и опорные поверхности (ведущие мосты) трактора, осуществлялось с использованием платформенных электронных весов МВСК (В);

- определение угла наклона осуществлялось с помощью инклинометра Absolute Digital Protractor;

- определение длины выхода штока гидроцилиндра осуществлялось с помощью измерительной линейки;

- расход топлива определялся счетчиком учета топлива ZJ-LCD-M, погрешность измерения которого составляет 1-3 %, по методике, изложенной в инструкции по применению.

Устройство и принцип работы устройства «Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата» нашли отражение в работах [7-9].

Результаты исследований

Перераспределение нагрузки между рабочими органами дисковой бороны и ведущими мостами осуществляется с помощью тросовой связи непосредственно с гидроцилиндром. В зависимости от изменения длины штока гидроцилиндра относительно нейтрального положения (выход штока гидроцилиндра 0,24 м) предлагаемое устройство позволяет:

- передавать частично нагрузку на движители трактора;

- передавать частично на рабочие органы агрегата.

С уменьшением длины выхода штока с 0,24 м до 0,16 м гибкая тросовая часть перераспределяет часть нагрузки между ведущими мостами и дисковой бороной следующим образом:

- нагрузка на передний мост трактора увеличилась с 78901 Н до 890216 Н;

- нагрузка на задний ведущий мост увеличилась с 40703 Н до 41102 Н;

- нагрузка на борону снизилась с 30502 Н до 29009 Н;

- нагрузка в гибкой тросовой части возросла с 201 Н до 1812 Н.

Наглядно перераспределение нагрузки в МТА представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Перераспределение нагрузки в МТА при работе устройства

Измеряемые величины	Полученные значения		
Длина выхода штока гидроцилиндра навески, м	0,24	0,20	0,16
Нагрузка на передний мост трактора, Н	78901	79608	80216
Нагрузка на задний мост трактора, Н	40703	40912	41102
Нагрузка на борону, Н	30502	29781	29009
Нагрузка в гибкой тросовой связи устройства, Н	201	721	1812

Проанализировав полученные в ходе производственных испытаний результаты (табл. 1) выявили, что при втягивании штока гидроцилиндра

происходит передача части нагрузки с бороны на ведущие мосты трактора, что позволяет при необходимости добавлять сцепной вес, повышая тем



самым его тягово-сцепные возможности [10-11]. При увеличении длины выхода штока гидроцилиндра с 0,24 м до 0,43 м гибкая тросовая часть перераспределяет часть нагрузки между ведущими мостами и дисковой бороной следующим образом:

- нагрузка на передний мост трактора снизилась с 78901 Н до 76415 Н;
- нагрузка на задний ведущий мост увеличилась

с 40703 Н до 39704 Н;

- нагрузка на борону снизилась с 30502 Н до 33545 Н;

- нагрузка в гибкой тросовой части возросла с 201 Н до 2015 Н.

Наглядно перераспределение нагрузки в МТА представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Перераспределение нагрузки в МТА при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра

Измеряемые величины	Положение навески			
Длина выхода штока гидроцилиндра навески, м	0,24	0,33	0,38	0,43
Нагрузка на передний мост тракто-ра, Н	78901	77163	76896	76415
Нагрузка на задний мост трактора, Н	40703	40227	39954	39704
Нагрузка на борону, Н	30502	32081	32802	33545
Нагрузка в гибкой связи устройства, Н	201	1235	1620	2015

В результате проведенных исследований (табл. 2) установлено, что с увеличением длины выхода штока гидроцилиндра происходит передача части нагрузки с ведущих мостов трактора на борону, что позволяет при необходимости обрабатывать участки с повышенной твердостью или при наличии участков, недостаточно оттаявших на глубину обработки. Погрешность измерения составила 3,7 %–4,1 %, что находится в пределах доверительного интервала.

При проведении экспериментальных исследований определено влияние предлагаемого устройства на ряд эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата, приведенных в таблице 3. На основании полученных результатов можно констатировать, что использование предлагаемого устройства позволяет улучшить эксплуатационные показатели бороновального МТА:

- при передаче частичной нагрузки с трактора на борону повысить глубину обработки почвы;

- при передаче частичной нагрузки с бороны на трактор повысить производительность МТА за счёт увеличения скорости движения (снижение величины буксования), что позволяет снизить расход топлива на единицу обработанной площади.

Заключение

Проведённый регрессионно-дисперсионный анализ результатов использования трактора в агрегате с тяжелой дисковой бороной и предлагаемым устройством, позволяющим догружать рабочие органы за счёт дополнительной нагрузки, создаваемой гибкой тросовой частью, показал, что для обеспечения глубины обработки (0,18–0,20 м) величина дополнительной нагрузки должна быть не менее 1766 Н.

Таблица 3 – Изменение эксплуатационных показателей бороновального МТА

Положение навески Параметр	При отключенном корректоре-распределителе сцепного веса	При включенном устройстве с целью повышения глубины обработки	При включенном устройстве с целью повышения тягово-сцепных свойств энергетического средства
усилие на буксирующем крюке, Н	16191	20810	16295
скорость движения МТА, м/с	3,3	3,2	3,7
расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га	6,8	7	6,3
глубина обработки почвы, м	0,18	0,20	0,18

Список источников

1. Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов/ С.С. Ус, Е.В. Маршанин,

К.Е. Кузнецов, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 8. – С. 147–154. EDN: ZBRLHT. DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp147-154
2. Результаты исследований по использованию



колесного трактора и модернизированной дисковой бороны / А.Е. Слепенков, В.В. Леонов, О.П. Митрохина, Н.П. Кидяева, С.В. Щитов, Кузнецов Е.Е. // Технический сервис машин. – 2022. – № 1 (146). – С. 39-45. EDN: RRUNZK. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-39-45

3. Влияние корректора-распределителя сцепного веса на перераспределение нагрузки внутри бороновального машинно-тракторного агрегата / Леонов В.В., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 10 (240). – С. 85-93. EDN: PGHEOW DOI: 10.53083/1996-4277-2024-240-10-85-93

4. Slepenkov A.E., Polikutina E.S., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Krivutsa Z.F. Increasing the efficiency of use of wheeled harrow units in regions of risk farming // В сборнике: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. С. 01003. EDN: AAFVMK. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201003

5. Повышение эффективности использования колесного пропашного трактора при бороновании / А.Е. Слепенков, О.А. Кузнецова, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3(83). – С 206-210. EDN: JMKKBC

6. Патент РФ № 2782360 МКИ А01В 21/08, «Корректор-распределитель сцепного веса бороновального машинно-тракторного агрегата» / Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов, В.В. Леонов, А.Н. Кушнарёв: заявитель и патентообладатель Дальневосточный государственный аграрный университет, заявка № 2022104842 от 22.02.2022 Опубликовано 26.10.2022 Бюл. № 30. 2.10.2022. EDN: ILXPJJ

7. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor // В сборнике: Air conference proceedings. Proceedings of the iv international conference on modernization, innovations, progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. Melville, 2024. С. 030002. EDN: GVJEVK. DOI: 10.1063/5.0196715

8. Surin R., Sokolov M., Loskutova E., Silokhina L., Shchitov S., Kuznetsov E. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture // В сборнике: E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Development and Modern Problems of Aquaculture" (AQUACULTURE 2022). EDP Sciences, 2023. С. 01032. EDN: AKPDOD. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032

9. Расширение технологических характеристик бороновального агрегата / А.Е. Слепенков, С.Н. Кулинченко, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов // Технический сервис машин. – 2021. – № 1 (142). – С. 83-88. EDN: MNXQFQ DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-1-83-88

10. Перспективы развития колесных полупрамных энергетических средств в современном мире / Р.О. Сурин, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов // Технический сервис машин. 2022. № 2 (147). С. 179-186. EDN: ABVNHP DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-2-179-186

11. Влияние догружающе-распределяющего модуля на технологические характеристики колесного транспортного агрегата / С.Н. Марков, А.И. Гончарук, В.В. Петроченко, Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов // Технический сервис машин. 2022. № 1 (146). С. 79-86. EDN: KGUNVF. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-79-86

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. *Primeneniye sovremennykh tsifrovyykh priborov dlya fiksatsii parametrov dvizheniya sel'skokhozyaystvennykh agregatov* / S.S. Us, Ye.V. Marshanin, K.Ye. Kuznetsov, Ye.Ye. Kuznetsov, S.V. Shchitov // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. – 2023. – № 8. – С. 147-154. EDN: ZBRLHT. DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp147-154

2. *Rezultaty issledovaniy po ispol'zovaniyu kolesnogo traktora i modernizirovannoy diskovoy borony* / A.Ye. Slepenkov, V.V. Leonov, O.P. Mitrokhina, N.P. Kidyayeva, S.V. Shchitov, Kuznetsov Ye.Ye. // *Tekhnicheskii servis mashin*. – 2022. – № 1 (146). – С. 39-45. EDN: RRUNZK. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-39-45

3. *Vliyaniye korrektora-raspredelitya stsepnogo vesa na pereraspredeleniye nagruzki vnutri boronovalnogo mashinno-traktornogo agregata* / Leonov V.V., Shchitov S.V., Kuznetsov Ye.Ye., Krivutsa Z.F., Polikutina Ye.S. // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2024. – № 10 (240). – С. 85-93. EDN: PGHEOW DOI: 10.53083/1996-4277-2024-240-10-85-93

4. Slepenkov A.E., Polikutina E.S., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Krivutsa Z.F. Increasing the efficiency of use of wheeled harrow units in regions of risk farming // В сборнике: Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. С. 01003. EDN: AAFVMK. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201003

5. *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya kolesnogo propashnogo traktora pri boronovanii* / A.Ye. Slepenkov, O.A. Kuznetsova, Ye.Ye. Kuznetsov, S.V. Shchitov // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2020. – № 3(83). – С 206-210. EDN: JMKKBC

6. *Patent RF № 2782360 МКИ А01В 21/08, «Корректор-распределитель стsepnogo vesa boronovalnogo mashinno-traktornogo agregata»* / Ye.Ye. Kuznetsov, S.V. Shchitov, V.V. Leonov, A.N. Kushnarov: *zayavitel' i patentoobladatel' Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, заявка № 2022104842 от*



22.02.2022 Opublikovano 26.10.2022 Byul. № 30. 2.10.2022. EDN: ILXPJJ

7. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor // V sbornike: Aip conference proceedings. Proceedings of the iv international conference on modernization, innovations, progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. Melville, 2024. S. 030002. EDN: GVJEVK. DOI: 10.1063/5.0196715

8. Surin R., Sokolov M., Loskutova E., Silokhina L., Shchitov S., Kuznetsov E. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture // V sbornike: E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Development and Modern Problems of Aquaculture" (AQUACULTURE 2022). EDP Sciences, 2023. S. 01032. EDN: AKPDOD. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032

9. Rasshireniye tekhnologicheskikh kharakteristik boronovall'nogo agregata / A.Ye. Slepnev, S.N. Kulichenko, S.V. Shchitov, Ye.Ye. Kuznetsov // Tekhnicheskii servis mashin. – 2021. – № 1 (142). – S. 83-88. EDN: MNXQFQ DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-1-83-88

10. Perspektivy razvitiya kolesnykh poluramnykh energeticheskikh sredstv v sovremennom mire / R.O. Surin, Ye.Ye. Kuznetsov, S.V. Shchitov // Tekhnicheskii servis mashin. 2022. № 2 (147). S. 179-186. EDN: ABVNHP DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-2-179-186

11. Vliyaniye dogruzhayushche-raspredelayushchego modulya na tekhnologicheskiye kharakteristiki kolesnogo transportnogo agregata / S.N. Markov, A.I. Goncharuk, V.V. Petrochenko, Ye.Ye. Kuznetsov, S.V. Shchitov, V.G. Yevdokimov // Tekhnicheskii servis mashin. 2022. № 1 (146). S. 79-86. EDN: KGUNVF. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-79-86

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

Щитов Сергей Васильевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», shitov.sv1955@mail.ru

Кривуца Зоя Фёдоровна, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой физики, математики и информатики, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», zfk20091@mail.ru

Поликутина Елена Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», e.polikytina@mail.ru

Воякин Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры электропривода и автоматизации технологических процессов, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», vsn177@yandex.ru

Леонов Владимир Викторович, соискатель кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», leonovvladimir@mail.ru

Author Information

Shchitov Sergey V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Transport and Energy Means and Mechanization of the Agro-Industrial Complex, Far Eastern State Agrarian University, shitov.sv1955@mail.ru

Krivutsa Zoya F., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Mathematics and Informatics, Far Eastern State Agrarian University, zfk20091@mail.ru

Polikutina Elena S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electric Power Engineering, Far Eastern State Agrarian University, e.polikytina@mail.ru

Voyakin Sergey N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Electric Drive and Process Automation, Far Eastern State Agrarian University, vsn177@yandex.ru

Leonov Vladimir V., Graduate Student of the Department of Transport and Energy Facilities and Agro-Industrial Complex Mechanization, Far Eastern State Agrarian University, leonovvladimir@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.12.2024; одобрена после рецензирования 28.01.2025; принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 06.12.2024; approved after reviewing 28.01.2025; accepted for publication 12.03.2025.