

ISSN 2077-2084

10.36508/RSATU.2025.90.94.001

12+

Том 17, №2, '2025

ВЕСТНИК

РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ
П.А. КОСТЫЧЕВА



АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РГТУ



**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, № 2, 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 №1657
Дата выхода в свет 30.06.2025

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 # 2, 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.1657
Date of publication. 30.06.2025

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



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Алиева В.М., Сайтханов Э.О., Шемякин В.Б. Оценка эффективности дезинфекции с использованием портативного генератора холодного тумана шторм и автоматической дозирующей системы AccuDose в производственных условиях	5
Быстрова И.Ю., Герасимов А.А., Политова М.А., Никитина С.В., Горичев А.Л. Экстерьерные особенности скота галловейской породы в разных регионах России	13
Вафина Э.Ф., Бабайцева Т.А., Мильчакова А.В., Рябова Т.Н., Логинов П.Ю. Урожайность сухого вещества озимой тритикале в зависимости от срока уборки	20
Городнюк Ю.П., Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Сидак С.В., Розумец И.Н. Моделирование урожайности озимых зерновых в современных климатических условиях на примере Брестского района	28
Зацепина И.В. Способность регулятора роста растений Рибав-Экстра повышать биометрические показатели форм айвы	35
Колесникова Т.А., Куликова М.А. Исследование ζ -потенциала при реагентной обработке навоза	43

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Васильев С.А., Годжаев З.А., Мишин С.А., Алексеев В.В., Бачурин А.Н. Оптимизация поворота при реверсивном способе движения автоматизированного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата	50
Грачев А.В., Неверов Е.Н., Горелкина А.К., Осинцев А.М. О проблемах в электрообеспечении АПК и подходах к их сетевой автоматизации для задач интеграции в систему единого управления	58
Дегтярев Г.В., Дегтярева О.Г., Головкин В.А. Исследование поведения радиальной скорости в зоне стыка цилиндрической и конической части гидроциклона-осветлителя	67
Жбанов Н.С. К вопросу изготовления модернизированной форкамеры высокопроизводительных двигателей	77
Колотов А.С., Юмаев Д.М., Кутыраев А.А., Филюшин О.В., Ушанев А.И. Совершенствование подкапывающих органов картофелеуборочных машин	85
Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Горохов А.А., Сидоров А.А. Подход к диагностированию тракторов агропромышленного комплекса	93
Купреенко А.И., Исаяев Х.М., Ялза А.Г., Купреенко О.А., Исаяев С.Х. Обоснование конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства модульной сушилки аэродинамического нагрева	101
Николотов И.Н., Кулик С.Н., Борычев С.Н. Теоретические предпосылки к совершенствованию системы обслуживания транспортных средств в сельском хозяйстве	110
Оковитая К.О., Барышников А.В., Белоцерковец В.А., Суржко О.А. Использование низкотемпературного тепла при утилизации послеспиртовой барды	117
Плотников С.А., Кутергин Н.Ю., Бирюков А.Л., Карташевич А.Н. Результаты тяговых испытаний трактора Беларус-922 при работе на многокомпонентных биотопливах	124
Рязанцев А.И., Костоварова И.А., Рембалович Г.К., Евсеев Е.Ю., Шленов С.Л. Оценка качества полива широкозахватной дождевальными техникой на действующих оросительных системах	130
Сибирев А.В., Мосяков М.А., Михеев М.А. Разработка автоматической системы изменения угла наклона сепарирующего рабочего органа свеклоуборочного комбайна	140
Денисов А.С., Симакин А.А., Данилин В.Ю., Баранов М.А., Горшенина Е.Ю. Оценка эффективности масляных форсунок охлаждения поршней форсированных автотракторных дизелей	145
Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А., Абенов А.Т. Проектирование, прочностные расчеты и оптимизация формы конструкций рабочего оборудования мелиоративных машин в системе Inventor Pro	152
Фирсов А.С., Виноградов А.В. Результаты полевого опыта льнотеребильной секции в составе комбайна ЛК-4А	160
Чебанов А.Б., Стручаев Н.И., Адамова С.В., Милько Д.А. Определение тангенса угла диэлектрических потерь компонентов семян клещевины	167
Шемякин А.В., Даниленко Ж.В., Успенский И.А., Костенко М.Ю., Морозова Н.М. Теоретические исследования культиваторов для окучивания картофеля с пассивными рабочими органами	174
Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В. Исследование разрушаемости воскового сырья в процессе очистки	182
Юхин И.А., Сеницин П.С., Юмаев Д.М., Филюшин О.В., Мошнин А.М. Повышение эффективности работы автомобилей MAN на линии цифровизацией их эксплуатации	190



Content

AGRICULTURAL SCIENCES

Alieva V.M., Saitkhanov E.O., Shemyakin V.B. Evaluation of disinfection efficiency using a portable storm cold mist generator and an AccuDose automatic dosing system in industrial conditions	5
Bystrova I.Yu., Gerasimov A.A., Politova M.A., Nikitina S.V., Gorichev A.L. Exterior features of galloway cattle in different regions of Russia	13
Vafina E. F., Babaytseva T. A., Milchakova A.V., Ryabova T. N., Loginov P. Y. The Yield of dry matter of winter triticale depending on the harvest period	20
Haradniuk J. P., Volchak A. A., Mazhayskiy Y. A., Sidak S. V., Rozumets I. N. Modeling of winter grain productivity in modern climatic conditions using the example of the Brest district	28
Zatsepina I.V. The ability of the plant growth regulator Ribav-Extra to increase the biometric parameters of quince forms	35
Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Study of ζ -potential in reagent treatment of manure	43

TECHNICAL SCIENCES

Vasiliev S.A., Godzhaev Z.A., Mishin S.A., Alekseev V.V., Bachurin A.N. Optimization of rotation with a reversible method of movement of an automated agricultural machine and tractor unit	50
Grachev A.V., Neverov E.N., Gorelkina A.K., Osintsev A.M. About problems in the electrical supply of agricultural enterprises and approaches to their network automation for integration into a unified management system	58
Degtyarev G.V., Degtyareva O.G., Golovko V.A. Investigation of the behavior of radial velocity in the junction zone of the cylindrical and conical parts of the clarifying hydrocyclone	67
Zhbanov N.S. On the issue of manufacturing an upgraded pre-chamber for high-performance engines	77
Kolotov A.S., Yumaev D.M., Kutyraev A.A., Filyushin O.V., Ushanev A.I. Improvement of digging organs of potato harvesting machines	85
Kuznetsova E.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Gorokhov A.A., Sidorov A.A. Improving the diagnosis of tractors of the agro-industrial complex	93
Kupreenko A.I., Isaev K.M., Yaloza A.G., Kupreenko O.A., Isaev S.K. Substantiation of the design parameters of a non-water exhaust device of a modular aerodynamic heating dryer	101
Nikolotov I.N., Kulik S.N., Borychev S.N. Theoretical prerequisites for improving the vehicle maintenance system in agriculture	110
Okovitaya K.O., Baryshnikov A.V., Belotserkovets V.A., Surzhko O.A. The use of low-temperature heat in the disposal of post-alcohol waste	117
Plotnikov S.A., Kutergin N.Yu., Biryukov A.L., Kartashevich A.N. Results of traction tests of the Belarus-922 tractor when operating on multicomponent biofuels	124
Ryazantsev A.I., Kostovarov I.A., Rembalovich G.K., Evseev E.Yu., Shlenov S.L. Assessment of the quality of irrigation of wide-capture sprinkler equipment on operating irrigation systems	130
Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Miheev M.A. Development of an automatic system for changing the angle of inclination of the separating working body of a beet harvester	140
Denisov A.S., Simakin A.A., Danilin V.Yu., Baranov M.A., Gorshenina E.Yu. Evaluation of the effectiveness of oil injectors for cooling pistons of turbocharged tractor diesels	145
Toygambayev S.K., Abdulmazhidov Kh.A., Abenov A.T. Design, strength calculations and optimization of the form of structures of working equipment of reclamation machines in the Inventor Pro system	152
Firsov A.S., Vinogradov A.V. The results of the field experience of the flax milling section as part of the LK-4a combine	160
Chebanov A.B., Struchaev N.I., Adamova S.V., Milko D.A. Determination of the dissipation tangent of dielectric loss components of castor seeds	167
Shemyakin A.V., Danilenko Zh.V., Uspensky I.A., Kostenko M.Yu., Morozova N. M. Theoretical studies of cultivators for hilling potatoes with passive working bodies	174
Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Alekseev A.N., Pavlov V.V., Kurakin D.V. Study of destructionability of wax raw materials in the cleaning process	182
Yukhin I.A., Sinitsyn P.S., Yumaev D.M., Filyushin O.V., Moshnin A.M. Increasing the efficiency of man vehicles on the line by digitalizing their operation	190



СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 5-12
Vestnik RGATU, 2025 Vol.17, №2, pp. 5-12

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 648.61+579.66
DOI: 10.36508/RSATU.2025.17.91.002

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЗИНФЕКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРТАТИВНОГО ГЕНЕРАТОРА ХОЛОДНОГО ТУМАНА ШТОРМ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АССУДОСЕ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Виктория Мехмановна Алиева¹, Эльман Олегович Сайтханов²✉, Виктор Борисович Шемякин³

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

¹ v.dorogova@mail.ru

² elmanrzn@gmail.com

³ csgovita@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель работы – оценить микробную загрязненность на мясоперерабатывающем предприятии после дезинфекции с применением генератора холодного тумана. Оценить эффективность методики дозирования дезсредства при использовании смешивающей системы АссиDose для приготовления рабочих растворов дезинфицирующих и моющих средств. Определить концентрацию рабочего раствора, используя индикаторные полоски «НУК-100мг». По результатам проведенных опытов (взятие смывов до и после дезинфекции) дать оценку эффективности выбранного метода.

Методология. В качестве объекта исследований выбрано мясоперерабатывающее предприятие, расположенное в г. Коломна Московской области. Опыты проводили в цехе готовых блюд. Смывы брали с рабочего оборудования и рабочих поверхностей, находящихся в прямом контакте с сырьем и готовой продукцией. Исследования проводили на основные показатели, отображающие микробиологическую безопасность при использовании экспресс-тестов НПО «Альтернатива».

Результаты. Анализ проведенной работы показал снижение общего числа микробной обсемененности на обрабатываемых рабочих поверхностях после дезинфекции методом холодного тумана, что очень важно для выпуска качественного и безопасного продукта.

Заключение. Обеспечение пищевого производства эффективными методами дезинфекции необходимо для снижения общего количества патогенной микрофлоры при производстве продуктов животного происхождения. Как результат – выпуск безопасной и доброкачественной продукции и охрана здоровья населения.

Ключевые слова: микробная загрязненность, автоматический дозатор, индикаторные полоски, экспресс-тест, Петритест®, смешивающая система, мясоперерабатывающее предприятие

Для цитирования: Алиева В.М., Сайтханов Э.О., Шемякин В.Б. Оценка эффективности дезинфекции с использованием портативного генератора холодного тумана шторм и автоматической дозирующей системы АссиDose в производственных условиях // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.5-12 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.17.91.002>



EVALUATION OF DISINFECTION EFFICIENCY USING A PORTABLE STORM COLD MIST GENERATOR AND AN ACCUDOSE AUTOMATIC DOSING SYSTEM IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

Victoria M. Alieva¹, Elman O. Saitkhanov²✉, Viktor B. Shemyakin³

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

¹ v.dorogova@mail.ru

² elmanrzn@gmail.com

³ csgovita@yandex.ru

Abstract.

Problem and purpose. To assess microbial contamination at a meat processing plant after disinfection using a cold fog generator. To assess the effectiveness of the disinfectant dosing method using the AccuDose mixing system for preparing working solutions of disinfectants and detergents. Determine the concentration of the working solution using indicator strips "NUK-100 mg". Based on the results of the experiments (taking swabs before and after disinfection), assess the effectiveness of the selected method.

Methodology. A meat processing plant located in Kolomna, Moscow Region, was chosen as the object of research. The experiments were conducted in the ready-made food shop. The samples were taken from the working equipment and working surfaces that were in direct contact with the raw materials and finished products. The studies were conducted on the main indicators that reflect microbiological safety using the NPO "Alternative" express tests.

Results. An analysis of the work carried out showed a reduction in the total number of microbial contaminations on the treated work surfaces after disinfection using the cold fog method, which is very important for the production of a high-quality and safe product.

Conclusion. Providing food production with effective disinfection methods is necessary to reduce the total amount of pathogenic microflora in the production of animal products, resulting in the release of safe and high-quality products and the protection of public health.

Key words: microbial contamination, automatic dispenser, indicator strips, rapid test, Petritest®, mixing system, meat processing plant

For citation: Alieva V.M., Saitkhanov E.O., Shemyakin V.B. Evaluation of disinfection efficiency using a portable storm cold mist generator and an AccuDose automatic dosing system in industrial conditions // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 5-12 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.17.91.002>

Введение

В условиях современной пищевой промышленности правильно подобранные ветеринарно-санитарные мероприятия являются не просто рекомендацией, а важнейшим требованием, не- соблюдение которого может привести к очень серьезным последствиям, включая пищевые токсикоинфекции и токсикозы, вспышки различных инфекционных заболеваний и, как следствие, угрозу для здоровья людей, угрозу продовольственной безопасности, экономический ущерб. В результате чего компания несет убытки, страдает репутация предприятия, что может привести к остановке производства, а в дальнейшем и полному закрытию.

Все основные стандарты и нормативные документы, регламентирующие дезинфекцию в пищевой промышленности, изложены в системе ХААСП предприятия. ХАССП (от англ. Hazard Analysis and Critical Control Points) – анализ рисков в критических контрольных точках. ISO 22000 – международный стандарт качества, разработанный для всех предприятий, участвующих в производстве, упаковке и транспортировке пищевых продуктов. Система ХАССП и этот стандарт требуют строгого контроля и отслеживания всех ветеринарно-санитарных мероприятий, проводимых на произ-

водстве. Объективный анализ показывает, что на пищевых предприятиях, которые строго следуют этим стандартам, значительно снижаются риски возникновения пищевых токсикоинфекций и токсикозов.

Сделаем небольшой, но крайне важный обзор одного из нормативных документов. Итак, согласно «Санитарным правилам для предприятий мясной промышленности СП 3238 85» организация санитарного режима на пищевом предприятии включает в себя несколько этапов [2].

1. Сухая уборка, проводится без каких-либо жидкостей и включает в себя сбор крупного мусора, бумаги, обрывков упаковки, упавших на пол ингредиентов, сырья. Удалять крупный мусор нужно в течение всего рабочего дня, с целью недопущения его скопления и загрязнения производственного помещения.

2. Предварительная очистка оборудования и помещений теплой или умеренно горячей водой (оптимальная температура воды не должна превышать 40° С). На этом этапе удаляются растворимые загрязнения, что облегчает основную очистку.

3. Основная очистка (мойка) включает удаление оставшихся загрязнений с использованием растворов различных моющих средств. Основная мойка может состоять из одной или нескольких



стадий, что зависит от степени загрязнения и типа оборудования. При необходимости используют несколько видов очищающих моющих средств и специальный инвентарь. Если нет отдельных рекомендаций от производителя, то температуру поддерживают в пределах 40-65° С. Концентрацию рабочих растворов определяют согласно инструкции по применению используемого моющего средства. Для этого используют мерную посуду или применяют смешивающую систему для автоматического приготовления и дозирования рабочих растворов моющих средств и получения готового рабочего раствора для дальнейшего использования. Точное дозирование при приготовлении рабочего раствора очень важно, так как высокая концентрация может вызвать токсическое воздействие на организм, повредить оборудование и привести к неэффективному расходованию моющих средств. К тому же на ополаскивание потребуется большее количество воды, результатом чего будет увеличение финансовых затрат.

4. Ополаскивание водой. Через 15-20 минут после нанесения моющего средства эмульгированную в моющем растворе грязь смывают горячей водой (50-65° С) до полного удаления загрязнений и моющего средства. Конвейеры, куттера и другое похожее оборудование запускают на медленной скорости во время мойки и ополаскивания, чтобы убедиться – на оборудовании нет не- обработанных участков.

5. Дезинфекция (обеззараживание поверхностей) – заключительная стадия санитарной обработки на мясоперерабатывающем предприятии. Цель – уничтожение патогенных микроорганизмов, которые могут попасть в продукты питания на любом этапе производства: от подготовки сырья до упаковки готовой продукции в индивидуальную тару. Нанесение дезинфицирующих препаратов проводят согласно инструкции по применению выбранного дезинфицирующего средства. После обеспечения должной экспозиции (выдержка дезинфицирующего раствора в течение определенного времени для достижения максимального эффекта) осуществляют смывание (удаление остатков дезинфицирующего средства чистой водой). После этого проводят сушку для проверки, что на обработанных поверхностях не осталось влаги, в связи с тем, что влага способствует появлению коррозии, а также размножению микроорганизмов [2].

Для нанесения дезинфицирующих веществ на обрабатываемые поверхности используют различные методы. Одним из наиболее распространенных является метод орошения. Орошение может проводиться вручную, а также при помощи специальных устройств – распылителей. Распылители используют различные принципы работы, среди которых выделяют механическое распыление, акустическое распыления и ряд их разновидностей. Наша работа посвящена оценке эффективности дезинфекции помещений и оборудования мясоперерабатывающего предприятия путем аэрозольного распыления дезинфицирующего вещества с помощью генератора холодного

тумана Шторм, что является актуальным и имеющим практическое значение направлением.

При написании работы преследовали цель – оценить эффективность технологии ветеринарно-санитарных работ с применением дозатора AccuDose и генератора холодного тумана Шторм.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи:

- оценить эффективность методики дозирования дезинфицирующих средств с помощью смешивающей системы AccuDose для автоматического приготовления и дозирования рабочих растворов;

- оценить бактерицидную эффективность метода дезинфекции оборудования и помещений мясоперерабатывающего предприятия с помощью нанесения современного дезинфектанта методом холодного тумана и микробную загрязненность в этих же точках после проведения дезинфекции методом холодного туманом.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на мясоперерабатывающем предприятии ООО «Диво» (г. Коломна, Московская область). Для решения поставленных задач методология исследований включала 2 этапа. На первом этапе проводили оценку эффективности системы автоматического дозирования моющих и дезинфицирующих средств AccuDose с использованием в качестве индикатора точности дозирования тест системы «НУК-100мг» (ООО «Дельта хим-тек», ТУ-2642-008-66948373-2010). На втором этапе проводили изучение эффективности технологии дезинфекции методом холодного тумана при помощи портативного генератора Шторм 4л с активным дезинфицирующим компонентом NG NAC 15 (производитель «NOVELHIM»), в основе которого перекись водорода (20 %) и стабилизированная надуксусная кислота (15 %). Учет данных проводили по количественному показателю роста санитарно-показательных микроорганизмов.

Согласно методическим рекомендациям 4.2-022-2016 [4, 8], для контроля микробного загрязнения поверхности смывы отбирали с площади 100 см², используя для этого одноразовую стерильную рамку-трафарет, выполненную из пластика (рис. 1).



Рис.1 – Одноразовая стерильная рамка-трафарет
Fig. 1 – Disposable sterile frame-stencil

Смыв брали до и после дезинфекции в четырех разных направлениях, после помещали в пробирку с транспортной средой. Отбор проводили в четырех контрольных точках – гастроемкость, стеллаж для дефростации мясного сырья, фаршемешалка, канализационный трап.

Повторное взятие смывов осуществляли после проведения дезинфекции холодным туманом. Этот метод кардинально отличается от традиционных способов обработки поверхностей, поскольку позволяет достичь микроскопической точности проникновения активного вещества в самые труднодоступные места. В своем опыте мы использовали генератор холодного тумана Шторм 4л (рис. 2).



Рис. 2 – Генератор холодного тумана Шторм 4л.
Fig. 2 – Cold fog generator Storm 4L.

Данный аэрозольный генератор предназначен для распыления холодного тумана. Для рабочего раствора в установке предусмотрен четырехлитровый бак и три форсунки для распыления. Генератор работает по методу сверхнизкого давления. При активации устройства насосная система создает необходимое давление, проталкивая рабочий раствор через форсуночный блок. Специальная конструкция форсунок обеспечивает стабильный размер частиц, что очень важно для эффективности обработки.

Электрический мотор распределяет мелкие частицы жидкости равномерно по обрабатываемой площади. Частицы аэрозоля вначале задерживаются в воздухе, затем постепенно снижаются и оседают на горизонтальных и вертикальных поверхностях. В результате образуется равномерный слой мельчайших капель рабочего раствора. Эти капли остаются в воздухе в течение необходимого времени. Регулятор потока позволяет распылять жидкость от минимума в 50 мл до максимума 260 мл в минуту, в зависимости от плотности распыляемой жидкости.

Оценку эффективности системы автоматического дозирования проводили с использованием индикаторных полосок «НУК-100мг» (ООО «Дельта хим-тек», ТУ-2642-008-66948373-2010). Индикаторные полоски предназначены для полуколичественного определения концентрации надуксусной кислоты в водных растворах. Тест-

полоски полностью готовы к работе и не требуют использования дополнительных реактивов и оборудования.

Мясоперерабатывающий цех, в котором проводился опыт, представляет собой несколько соединенных между собой производственных помещений, где перерабатывают мясосырье и изготавливают полуфабрикаты с учетом всех санитарно-гигиенических требований. Смывы с исследуемых поверхностей брали сначала после мойки и повторно после обработки помещения холодным туманом, используя дезинфектант на основе надуксусной кислоты NG NAC 15.

Надуксусная кислота – эффективное средство для дезинфекции технологического оборудования разных видов. Средство, которое используется на производстве ООО «Диво», это NG NAC 15, производитель «NOVELHIM», в основе его перекись водорода (20 %) и стабилизированная надуксусная кислота (15 %). Плотность средства при 20° С – 1,10-1,15 г/см³. Дезинфицирующие средства на основе надуксусной кислоты имеют неограниченную растворимость в воде, отлично смываются с поверхности. Этот дезинфектант относится к третьему классу веществ умеренной опасности. При однократном попадании рабочих растворов на кожу раздражения не возникают. Вещество является экологически безопасным, не загрязняет окружающую среду. Дезинфицирующее средство надуксусная кислота – сильный окислитель, имеет бактерицидное, спороцидное, вирулицидное, фунгицидное свойства. Воздействие НУК обеспечивает быструю инактивацию микроорганизмов, процесс необратимый. Рабочие растворы могут быть использованы для дезинфекции оборудования, изготовленного из нержавеющей, хром-никелевой стали и алюминия. После использования 0,02 %-го (по НУК) рабочего раствора смывания остатков средства с оборудования не требуется за исключением оборудования для изготовления детского питания [6].

Для приготовления рабочих растворов необходимо использовать водопроводную воду [7].

Посев смывов на оценку наличия и характера роста, а также количественную оценку микробной загрязненности поверхностей осуществляли с помощью питательных сред «Петритест» (НПО «Альтернатива», 410071, г. Саратов, ул. Шелковичная, д. 186).

Результаты исследования и их обсуждение

Правильная организация процесса мойки и дезинфекции на пищевом предприятии – залог выпуска доброкачественной и безопасной продукции. Неадекватная обработка может привести к развитию пищевых инфекций и отравлениям. Большая часть оборудования, используемого на производстве, изготовлена из пищевой нержавеющей стали, что облегчает мойку и проведение дезинфекции. Система автоматического дозирования моющих и дезинфицирующих веществ AccuDose, используемая на мясоперерабатывающем предприятии ООО «Диво», основана на технологии смешивания «Вентури-вакуум» (рис. 4). Смешивающая систе-



ма для приготовления рабочих растворов необходима для того, чтобы обеспечить точное разбавление концентрированного химического средства водой и получить готовый раствор нужной концентрации для дальнейшего использования.

Технология Вентури основана на изменении скорости потока воды за счет сужения просвета проводника и используется для смешивания химических веществ с водой [9, 10, 11]. Водящий поток воды ограничен соплом, а скорость исходящего потока снижается в перевернутой воронке на дне трубки Вентури (рис. 5). В результате образуется вакуум в середине трубки, где концентрат всасывается в поток воды. Концентрация рабочего раствора регулируется сменными жиклерами, имеющими различный внутренний диаметр. Устройство не требует внешнего электричества, батареи, насоса и давления воздуха. Вода подается в устройство из стандартной сети водоснабжения под давлением до 4,5 атмосферы. Скорость потока рабочего раствора – 14 литров в минуту. Дозатор

удобен для заполнения рабочих растворов различных емкостей.

Такая система имеет ряд преимуществ, среди которых безопасность (устройство исключает прямой контакт с концентратами), экономичность (система обеспечивает точное смешивание концентрата с водой, что позволяет исключить перерасход препаратов), повышение качества дезинфекции и мойки (за счет точных концентраций), экономия времени (системы облегчают и автоматизируют рабочие процессы, что снижает трудозатраты), удобство использования (система проста в установке и обращении, имеет кнопочное управление, работа осуществляется от стандартной водопроводной линии).

При нажатии на клавишу дозатора-смесителя происходит автоматическое постоянное дозирование концентрата моющего или дезинфицирующего средства в поток воды. На выходе получается готовый рабочий раствор с заданной концентрацией.



1

Рис. 4 – Смешивающая система AccuDose на одно средство.

Fig. 4 – AccuDose mixing system for 1 product.



2

Рис.5 – Схема смешивания концентрата с водой.

Fig.5 – Scheme of mixing concentrate with water.

Смывы с исследуемых поверхностей брали после мойки, до проведения дезинфекции. Наибольшее количество бактерий группы кишечной палочки выявлено в смывах на поверхности сливного трапа. При прямом подсчете количество выросших колоний составило $74 \cdot 10^3$ КОЕ/см² (табл. 1). Количество БГКП на стеллаже для деф-

ростации почти в 3 раза ниже ($25,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). Количество жизнеспособных бактерий группы кишечной палочки в смывах с гастроемкости, было на 29,4 % ниже, чем на стеллаже дефростации мяса ($18 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). Микробная обсемененность поверхности фаршемешалки оказалась самая низкая и составила $6 \cdot 10^3$ КОЕ/см².

Таблица 1 – Результаты термостатирования на колиформы, стафиллококк и дрожжи до дезинфекции

Точка отбора смывов	Наименование показателя		
	БГКП (колиформные бактерии, в т.ч. Escherichia coli), КОЕ/см ²	Стафилококк, КОЕ/см ²	Грибы/дрожжи, КОЕ/см ²
Гастроемкость	$18 \cdot 10^3$	$12,5 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$
Стеллаж для дефростации мясного сырья	$25,5 \cdot 10^3$	$21 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$



Продолжение таблицы 1

Фаршемешалка	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$11,5 \cdot 10^3$
Канализационный трап	$74 \cdot 10^3$	$67,5 \cdot 10^3$	$54 \cdot 10^3$

Оценку количества стафилококка выполняли согласно ГОСТ Р 52815-2012 «Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*». Как показали результаты исследований, наибольшее количество стафилококка было обнаружено на смыве с производственного трапа ($67,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). На стеллаже дефростации его количество было в 3 раза меньше ($21 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), аналогичный количественный показатель был зафиксирован нами на гастроемкости ($21 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). Как и в случае с бактериями группы кишечной палочки, наименьшее количество стафилококка было отмечено на фаршемешалке ($8 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), что в 2,6 раза меньше в сравнении со стеллажом для дефростации мяса и гастроемкостью.

Посев на сухую питательную среду, адаптированную на определение наличия грибов/дрожжей, выявил рост грибов и дрожжей (*Aspergillus niger*, *Candida albicans*) и дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*). Как и ранее, наиболее активный рост наблюдали в образцах с канализационного трапа ($54 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). На поверхности фаршемешалки обнаружено $11,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см², на поверхности гастроемкости $6,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см², и меньше всего на стеллаже для дефростации мясного сырья – $3 \cdot 10^3$ КОЕ/см², что, на наш взгляд, связано с наименьшей влажностью на данной контрольной точке.

Как показали результаты проведенной оценки микробной загрязненности основных рабочих поверхностей, проведение мойки не обеспечивает удаления колониеобразующих единиц санитарно-показательных микроорганизмов, что подтверждает необходимость проведения регулярной дезинфекции.

Для исследования эффективного применения дезинфицирующих средств на основе надуксусной кислоты применяли методику обработки холодным туманом. Обработку проводили, используя 0,02 % рабочий раствор (по основному действующему веществу – надуксусная кислота НУК). Выбор концентрации обусловлен возможностью не проводить смывание остатков дезинфи-

цирующего средства при этой концентрации [7].

Дезинфекцию проводили по следующей технологии. Перед обработкой заранее, но после окончания мойки, отключили всю систему вентиляции в выбранном для опыта помещении. Обработку начали с дальнего угла помещения, постепенно перемещаясь к выходу. Это обеспечивало равномерное распределение тумана по всему объему обрабатываемого цеха. Генератор работал в течение 20 минут, температура в помещении составляла 16° С, влажность 44,5 %. После завершения обработки выдерживали двойную экспозицию: 15 минут для оседания частиц тумана на поверхности и 30 минут для обеспечения дезинфекции. По истечении времени экспозиции помещение проветривали с помощью вентиляционной системы. После полного высыхания остатков препарата брали смывы со сливного трапа, стеллажа для дефростации мяса, гастроемкости и фаршемешалки.

В ходе исследования было установлено, что использовании дезинфектанта на основе надуксусной кислоты в сочетании с применением холодного тумана оказывает значительное влияние на количество патогенных микроорганизмов (табл. 2). Из данных в таблице видно, что выбранный нами для производственной апробации препарат и способ дезинфекции эффективен в отношении бактерий группы кишечной палочки, стафилококковых бактерий, а также грибов и дрожжей. На самом грязном объекте исследований, канализационном трапе, количество жизнеспособных бактерий группы кишечной палочки почти в 25 раз ниже ($5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²) в сравнении с цифрами до проведения обработки ($74 \cdot 10^3$ КОЕ/см²).

Количество стафилококков почти в 34 раза ниже ($2 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), чем до дезинфекции ($67,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²). Роста грибов и дрожжей не наблюдалось. Небольшая обсемененность колониеобразующими единицами дрожжей или плесени (дифференциация на данном этапе исследования не проводилась) осталась на гастроемкости, ($11,5 \cdot 10^3$ КОЕ/см²), но в сравнении с первоначальным количеством ($54 \cdot 10^3$ КОЕ/см²) значение оказалось в 5 раз ниже.

Таблица 2 – Результаты термостатирования на колиформы, стафиллококк и дрожжи после дезинфекции холодным туманом

Точка отбора смывов	Наименование показателя		
	БГКП (колиформные бактерии, в т.ч. <i>Escherichia coli</i>), КОЕ/см ²	Стафилококк, КОЕ/см ²	Грибы/дрожжи, КОЕ/см ²
Гастроемкость	0	0	$1 \cdot 10^3$
Стеллаж для дефростации мясного сырья	0	0	0
Фаршемешалка	0	0	0
Канализационный трап	$5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	0



Заключение

Дезинфектанты на основе надуксусной кислоты являются высокоэффективными дезинфицирующими препаратами. Их действие основано на окислении (разрушении) клеточных мембран бактерий, грибов, дрожжей и эндоспор, благодаря чему препараты быстро и эффективно уничтожают патогенные организмы. При использовании генератора холодного тумана обработка этим препаратом является более эффективным методом по сравнению с традиционными (орошение, протирание). Мелкодисперсное облако равномерно обволакивает обрабатываемое помещение и активные вещества продолжают работать даже после полного оседания и высыхания рабочего раствора. Кроме обработки поверхностей рабочего оборудования холодный туман в сочетании с раствором надуксусной кислоты позволяет бороться с патогенными микроорганизмами в воздухе обрабатываемого цеха.

Проведенный опыт показал, что сочетание эффективного препарата с выбранным нами способом обработки снизил уровень бактериальной загрязненности на мясоперерабатывающем предприятии, что в условиях развития высокой конкуренции становится стратегически важной задачей.

Список источников

1. Алиева, В. М. Сравнительная характеристика эффективности ветеринарно-санитарных мероприятий в условиях мясоперерабатывающего предприятия ООО "Диво" / В. М. Алиева, Э. О. Сайтханов, И. С. Кузьмин // Актуальные вопросы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 14 июня 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 5-11. – EDN OWCOWE.
2. Санитарные правила для предприятий мясной промышленности СП 3238 85. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/sanitarnye-pravila-dlja-predpriyatij-m/>
3. Сироткин, И. В. Совершенствование санитарно-микробиологического контроля качества профилактической дезинфекции в цехах по переработке мяса : специальность 06.02.05 "Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Сироткин Игорь Владимирович. – Москва, 2015. – 22 с. – EDN ZPUKMR.
4. 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/>
5. 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.
6. Технический Регламент Таможенного Союза «О безопасности пищевой продукции» – ТР ТС 021/2011 Об стр.8, п.5
7. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
8. 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>
9. 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 / В.М. Алиева, Э. О. Сайтханов, В. Г. Семенов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 21-28. – DOI 10.36508/RSATU.2025.38.85.005.
10. Beswick A, Bailey C, Crook B, Crouch D, Farrant J, Frost G, Stagg S. Performance Testing of a Venturi-Based Backpack Spray Decontamination System. Appl Biosaf. 2020 Mar 1;25(1):28-40. doi: 10.1177/1535676019898299. Epub 2020 Mar 1. PMID: 36033381; PMCID: PMC9134619.
11. Akram H, Andrews-Paul A, Washburn R. Assessing Hand Hygiene and Low-Level Disinfection of Equipment Compliance in an Acute Care Setting: Mixed Methods Approach. JMIR Nurs. 2020 Jun 5;3(1):e18788. doi: 10.2196/18788. PMID: 34345785; PMCID: PMC8279436.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Aliyeva, V. M. *Sravnitel'naya kharakteristika effektivnosti veterinarno-sanitarnykh meropriyatiy v usloviyakh myasopererabatyvayushchego predpriyatiya* ООО "Диво" / V. M. Aliyeva, E. O. Saytkhanov, I. S. Kuz'min // *Aktual'nyye voprosy veterinarnoy meditsiny, zootekhnii i biotekhnologii : Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ryazan', 14 iyunya 2023 goda.* – Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet im. P.A. Kostycheva, 2023. – S. 5-11. – EDN OWCOWE.
2. *Sanitarnyye pravila dlya predpriyatiy myasnoy promyshlennosti* SP 3238 85. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/sanitarnyye-pravila-dlja-predpriyatij-m/>
3. Sirotkin, I. V. *Sovershenstvovaniye sanitarno-mikrobiologicheskogo kontrolya kachestva profilakticheskoy dezinfektsii v tsekhakh po pererabotke myasa : spetsial'nost' 06.02.05 "Veterinarnaya sanitariya, ekologiya, zoogigiyena i veterinarno-sanitarnaya ekspertiza" : avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata veterinarnykh nauk / Sirotkin Igor' Vladimirovich.* – Moskva, 2015. – 22 s. – EDN ZPUKMR.
4. *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/>
5. *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.
6. *Tekhnicheskii Reglament Tamozhennogo Soyuza «O bezopasnosti pishchevoy produktsii»* – TR TS 021/2011 Ob str.8, p.5
7. *SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'yevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'yevogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva.*
8. *Metody mikrobiologicheskogo ekspress-kontrolya ob'yektov okruzhayushchey sredy i pishchevykh produktov s ispol'zovaniyem produktsii «Petrtestm»* // *METODICHESKIYE REKOMENDATSII 4.2-022-2016 [Elektronnyy resurs].* – URL: <https://petritest.ru/images/doc/Metodicheskie%20ukazaniya%20Petrtest.pdf>
9. *Analiz potochnosti tekhnologicheskikh protsessov na myasopererabatyvayushchem predpriyatii s otsenkoy urovnya zagryazneniya osnovnykh rabochikh poverkhnostey, imeyushchikh pryamoy ili kosvennyy kontakt s myasnym syr'yem i gotovoy produktsiyey* / V.M. Aliyeva, E. O. Saytkhanov, V. G. Semenov // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva.* – 2025. – T. 17, № 1. – S. 21-28. – DOI 10.36508/RSATU.2025.38.85.005.
10. Beswick A, Bailey C, Crook B, Crouch D, Farrant J, Frost G, Stagg S. *Performance Testing of a Venturi-Based Backpack Spray Decontamination System.* *Appl Biosaf.* 2020 Mar 1;25(1):28-40. doi: 10.1177/1535676019898299. Epub 2020 Mar 1. PMID: 36033381; PMCID: PMC9134619.
11. Akram H, Andrews-Paul A, Washburn R. *Assessing Hand Hygiene and Low-Level Disinfection of Equipment Compliance in an Acute Care Setting: Mixed Methods Approach.* *JMIR Nurs.* 2020 Jun 5;3(1):e18788. doi: 10.2196/18788. PMID: 34345785; PMCID: PMC8279436.

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», elmanrzn@gmail.com

Шемякин Виктор Борисович, аспирант кафедры ВСЭ, хирургии, акушерства и ВБЖ, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», csgovita@yandex.ru

Author Information

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

Saitkhanov Elman O., Candidate Biological Sciences, Head of the Department of VSE, Surgery, Obstetrics and FGM, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, elmanrzn@gmail.com

Shemyakin Viktor B., Postgraduate Student of the Department of VSE, Surgery, Obstetrics and FGM, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, csgovita@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2025; принята к публикации 10.06.2026.

The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 05.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 13-19
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp. 13-19

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.033
DOI: 10.36508/RSATU.2025.21.65.003

ЭКСТЕРЬЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СКОТА ГАЛЛОВЕЙСКОЙ ПОРОДЫ
В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

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

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

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

¹ ibystrova66@mail.ru

² a.gerasimov@vniiplem.ru

³ politova-marina@yandex.ru

⁴ Nikst@yandex.ru

⁵ zoo.gorichev@gmail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования был анализ особенностей популяций галловейского скота в различных федеральных округах Российской Федерации.

Методология. Исторические и современные сведения по разведению скота галловейской породы в СССР и Российской Федерации изучались по специализированной литературе, информационным ресурсам, использованы результаты бонитировки мясного скота в Российской Федерации за 2023 год, научные, экономико-статистические публикации в открытой печати. Методологической основой исследований явились комплексный системный и аналитический подходы.

Результаты. В результате анализа данных о росте молодняка и состоянии взрослого скота породы галловей в различных федеральных округах России установлены региональные особенности популяций.

Заключение. Результаты исследований позволили определить региональные особенности популяций галловейского скота в России.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, галловейская порода, быки, коровы, молодняк, живая масса, высота в крестце

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

Original article

EXTERIOR FEATURES OF GALLOWAY CATTLE IN DIFFERENT REGIONS OF RUSSIA

Irina Yu. Bystrova¹✉, Alexander A. Gerasimov², Marina A. Politova³, Svetlana V. Nikitina⁴, Artem L. Gorichev⁵

¹Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

^{2,3,4,5}All-Russian Research Institute of Breeding, Moscow Region, Pushkinsky District, Lesnye Polyany settlement, Russia

© Быстрова И.Ю., Герасимов А.А., Политова М.А., Никитина С.В., Горичев А.Л., 2025 г.

**Abstract.**

Problem and purpose. The purpose of this study was to analyze the characteristics of Galloway cattle populations in various federal districts of the Russian Federation.

Methodology. Historical and modern materials on breeding Galloway cattle in the USSR and the Russian Federation were studied using specialized literature, information resources, the results of the bonitation of beef cattle in the Russian Federation for 2023, scientific, economic and statistical publications in the open press were used. The methodological basis of the research was an integrated systems and analytical approaches.

Results. As a result of the analysis of data on the growth of young animals and the condition of adult Galloway cattle in various federal districts of Russia, regional characteristics of the populations were established.

Conclusion. The research results made it possible to determine the regional characteristics of Galloway cattle populations in Russia.

Key words: cattle, Galloway breed, bulls, cows, young animals, live weight, rump height

For citation: Bystrova I.Yu., Gerasimov A.A., Politova M.A., Nikitina S.V., Gorichev A.L. Exterior features of galloway cattle in different regions of Russia // Herald of Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.1. P.13-19 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.21.65.003](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.65.003)

Введение

В 2024 году в России было произведено рекордных 16,9 млн тонн мяса, его потребление достигло 83 кг на человека в год [1]. С ростом благосостояния населения спрос на говядину будет увеличиваться. Говядина благодаря своему составу в структуре потребления мяса по медицинским нормам должна составлять на менее 45 %. Но говядину приходится импортировать. В прошлом году было завезено с в страну 350 тыс. тонн, что на 35 тыс. тонн выше, чем в предыдущем году. По данным Института конъюнктуры аграрного рынка (ИКАР) в 2024 году наиболее заметно увеличились поставки говядины из стран Южной Америки [1].

Производство крупного рогатого скота на убой в живой массе в 2023 году составило 2853,1 тысяча тонн, что на 5,8 % меньше (176,9 тысяча тонн) уровня 2010 года. В убойной массе в 2023 году показатель также ниже уровня 2010 года на 9,7 % или на 75,7 тысяча тонн [2].

Причин снижения производства говядины много, главная – низкая рентабельность. Себестоимость говядины неуклонно растет на фоне роста цен на корма, топливо, энергоресурсы, ветеринарные препараты и прочее.

Рост молочной продуктивности коров и, как следствие, снижение выхода телят, а также использование сексированного семени, приводят к сокращению поголовья свёрхремонтного молодняка, который можно было бы использовать для производства говядины.

Выход из сложившейся ситуации – это увеличение поголовья специализированного мясного скота и его породного разнообразия. На сегодняшний день мясные специализированные породы в основном представлены калмыцкой (33,8 %), герефордской (28,2 %), казахской белоголовой (17,2 %), абердин-ангусской (16,9 %) породами. Другие породы в структуре породного разнообразия составляют менее 1 % (рис. 1).

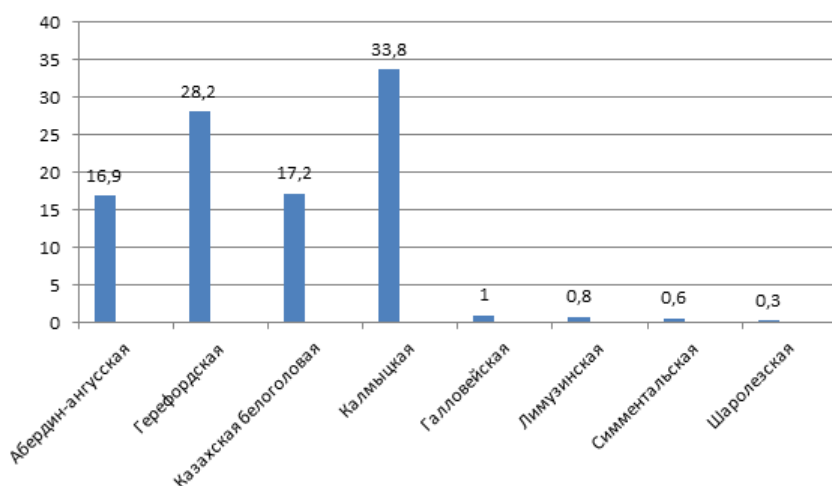


Рис.1 – Пробонитированное поголовье скота мясных пород, 2023 год, % от общего поголовья, [2]

Fig. 1 – Classified number of beef cattle, 2023, % of total number, [2]

В основе специализированного мясного скотоводства всегда была ресурсосберегающая технология, предусматривающая, в том числе, пастбищное содержание крупного рогатого скота.

Следует учитывать весьма разнообразные климатические условия России от Калининграда до Дальнего Востока и способность различных пород адаптироваться к разным геоклиматическим условиям.

Лучшие земельные угодья давно распаханы и задействованы в севооборотах, под пастбища отводятся малопродуктивные земли, с небогатой растительностью. Далеко не каждая порода способна эффективно усваивать корма невысокого качества.

Далеко не все породы крупного рогатого скота, даже специализированные мясные, способны



сохранять высокие показатели продуктивности и воспроизводства в условиях продолжительного пастбищного содержания. По общему мнению, лучше приспособлены к пастбищному содержанию британские породы: герефордская, абердин-ангусская и галловейская.

Галловейская порода максимально пригодна к использованию в условиях круглогодичного пастбищного содержания в разных климатических условиях нашей страны, так как формировалась

в гористой местности с влажным климатом, прохладным летом, малоснежной и мягкой зимой графства Галлоуэе в Шотландии. Скот хорошо приспособлен к круглогодичному пастбищному содержанию, в том числе в условиях тропического климата [3].

Скотозаводчики убедились в преимуществах этой породы, поэтому поголовье галловейского скота в нашей стране увеличивается.

Таблица 1 – Изменение поголовья пробонитированного скота галловейской породы в России

Порода	Год								2020 ±2010		2020 ±2019	
	2010		2015		2019		2020					
	гол.	%	гол.	%	гол.	%	гол.	%	гол.	%	гол.	%
Галловейская	1436	0,5	2127	0,6	2471	0,7	2723	0,8	1287	89,6	252	10,2

С 2010 по 2020 годы численность пробонитированного галловейского скота во всех сельскохозяйственных организациях РФ увеличилась на 1287 гол или 89,6 %.

Впервые ввоз скота этой породы в страну начался в 1962 году из Великобритании в Горно-Алтайскую автономную область и Казахстан. Несмотря на резкое различие условий в Казахстане от условий на родине галловеев в Шотландии, они уже в первый год круглогодичного содержания хорошо акклиматизировались. Местные пастбища, используемые в течение года, даже зимой, при высоте снежного покрова 10-15 см позволяли поддерживать необходимую упитанность при небольшой подкормке концентратами, силосом и сеном в зимний период. На протяжении всей зимы, исключая самые холодные месяцы, скот ночевал в открытом загоне, но в феврале-начале марта – под навесом. Водопоем в течение всего года служили горные речки. Весной 1964 г. при осмотре стада обращали на себя внимание неутомимость и лег-

кость, с какой все животные, включая стельных коров, передвигались на крутых склонах пастбища. За зиму скот сохранил заводскую упитанность, весенняя линька у него прошла дружно, все животные были здоровы и энергичны.

И хотя галловейская порода не получила широкого распространения в России, животные этой породы имеют ряд преимущественных характеристик: легкие отелы, высокая сохранность телят – до 95 %, продолжительное продуктивное долголетие – 12-15 лет, неприхотливость к кормам. Даже в условиях круглогодичного пастбищного содержания хорошо наращивают массу, могут использоваться для улучшения мясных качеств других пород, в том числе некрупных, пригодны для ресурсосберегающей технологии производства говядины [4].

Как правило, масть черная, нередко с белым «поясом» от задних углов лопаток до поясницы. Есть в породе животные с рецессивным красным и серым окрасом. Шерсть волнистая, грубая (рис. 2).



Рис.2 – Бычки галловейской породы, фото из свободного доступа интернет
Fig. 2 – Galloway bulls, photo from the public domain on the Internet

По литературным данным высота в холке быков в среднем составляет 130-150 см, коров – 110-120 см. Живая масса быков 750-800 (до 1200) кг, коров – 480-550 кг. Животные характеризуются хорошо развитой мускулатурой, вытянутым, пропор-

циональным туловищем бочкообразной формы; крепким костяком, массивной, комолой головой [5].

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили статистические данные. Исторические и совре-



менные материалы по разведению скота галловейской породы в СССР и Российской Федерации изучались по специализированной литературе, информационным ресурсам, использованы результаты бонитировки мясного скота в Российской Федерации за 2023 год, научные, экономико-статистические публикации в открытой печати. Методологической основой исследований явились комплексный системный и аналитический подходы.

Результаты исследований и их обсуждение

Климатические и, как следствие, кормовые факторы оказывают существенное влияние в первую очередь на живую массу животных.

Анализируя базу данных пробонитированного

поголовья взрослого скота галловейской породы в племенных заводах и племенных репродукторах [2], установили, что во всех федеральных округах живая масса коров и быков соответствует средним породным показателям. Так, быки в возрасте двух лет в среднем весили 592 кг (табл. 2), в трехлетнем возрасте – 658 кг, в возрасте четырех лет – 702 кг и к пяти годам достигали массы 831 кг. В Центральном федеральном округе превосходство быков по средней массе составило в возрасте трех лет – на 21 кг, в четырехлетнем возрасте – на 73 кг, в более старшем возрасте – на 33 кг (рис. 3).

Таблица 2 – Показатели живой массы быков и коров галловейской породы, кг

Регион	Возрастная группа	Быки	Коровы	± к РФ	
				быки	коровы
Российская Федерация	2-х лет	592	-	-	-
	3-х лет	658	451	-	-
	4-х лет	702	494	-	-
	5 лет и ст.	831	519	-	-
Центральный федеральный округ	2-х лет	560	-	- 32	-
	3-х лет	679	473	+ 21	+ 22
	4-х лет	775	480	+ 73	- 14
	5 лет и ст.	864	572	+ 33	+ 53
Сибирский федеральный округ	2-х лет	603	-	+ 11	-
	3-х лет	700	458	+ 42	- 9
	4-х лет	705	506	+ 3	+12
	5 лет и ст.	776	497	- 55	- 22
Дальневосточный федеральный округ	3-х лет	609	394	- 49	- 57
	4-х лет	666	428	- 36	- 66
	5 лет и ст.	778	471	- 53	- 48

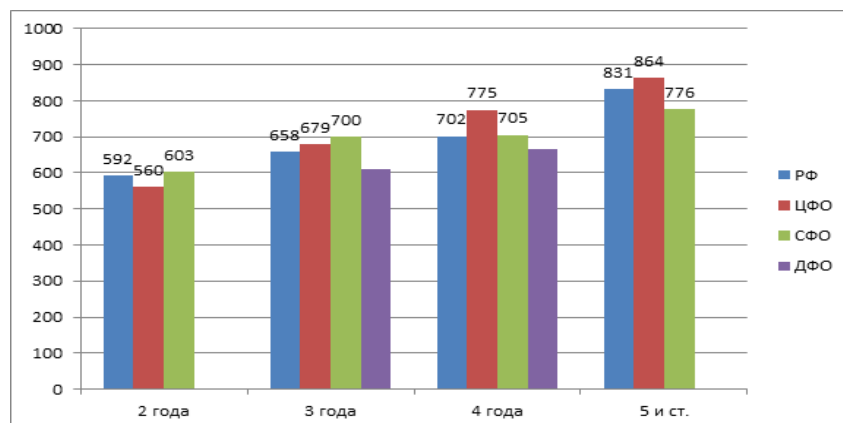


Рис. 3 – Живая масса быков галловейской породы в разных регионах Российской Федерации, 2023

Fig. 3 – Live weight of Galloway bulls in different regions of the Russian Federation, 2023

В Сибирском федеральном округе по живой массе быки-производители также превосходили средние значения по России, но превышение было уже меньше, чем в Центральном федеральном округе и составляло в двухлетнем возрасте + 11 кг, в трехлетнем + 42 кг, в четырехлетнем +

3 кг, в более старшем возрасте, хотя масса и не выходила за пределы средних показателей по породе, но была существенно ниже, чем в среднем по Российской Федерации, на 55 кг.

Популяция галловейского скота в Дальневосточном федеральном округе отличается более



низкими показателями живой массы от среднероссийских: в трехлетнем возрасте – на 49 кг, в четырехлетнем – на 36 кг, в более старшем возрасте – на 53 кг.

Масса коров в возрасте трех лет в стране и ее регионах несколько ниже среднего значения по породе, и только в возрасте четырех лет и старше достигает значения 480-550 кг и выше (рис. 4).

В Центральном федеральном округе коровы имеют большую живую массу, чем в среднем по России – 473-572 кг против 451-519 кг. Уступают им по живой массе коровы в Сибирском федеральном округе – 458-506 кг. И наименьшая живая масса коров в популяции Дальневосточного федерального округа – 394-471 кг.

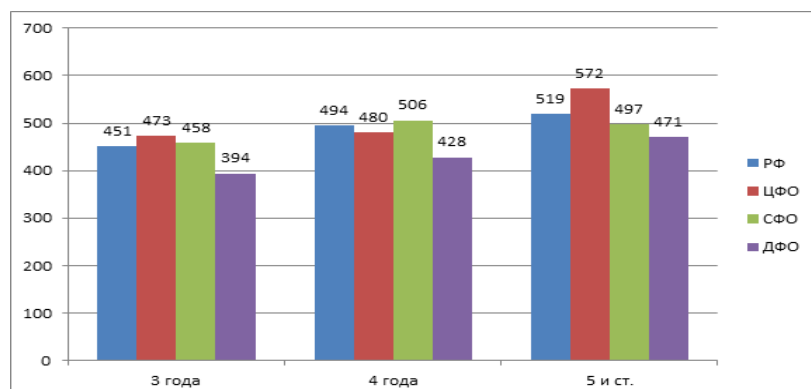


Рис.4 – Живая масса коров галловейской породы в разных регионах Российской Федерации, 2023

Fig. 4 – Live weight of Galloway cows in different regions of the Russian Federation, 2023

Важным показателем в мясном скотоводстве является высота в крестце, так как показатель имеет высокую корреляцию с размером тела животного. По мнению И. Н. Хакимова [6], коэффициент корреляции между живой массой и высотой животного в крестце может достигать 71 %.

При недостаточной упитанности взрослых жи-

вотных данный промер может характеризовать потенциал животного.

По среднероссийским данным быки и коровы характеризуются достаточно высокими показателями высоты в крестце: 132-137 см и 125-127 см соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Характеристика быков и коров галловейской породы по высоте в крестце, см

Регион	Возрастная группа	Быки	Коровы	± к РФ	
				быки	коровы
Российская Федерация	2-х лет	133	-	-	-
	3-х лет	132	125	-	-
	4-х лет	132	126	-	-
	5 лет и ст.	137	127	-	-
Центральный федеральный округ	2-х лет	131	-	- 2	-
	3-х лет	135	130	+ 3	+ 5
	4-х лет	133	128	+ 1	+ 2
	5 лет и ст.	140	130	+ 3	+ 3
Сибирский федеральный округ	2-х лет	134	-	+ 1	-
	3-х лет	129	124	- 3	- 1
	4-х лет	133	126	+ 1	0
	5 лет и ст.	133	126	- 4	- 1
Дальневосточный федеральный округ	3-х лет	127	120	- 6	- 5
	4-х лет	129	121	- 3	- 5
	5 лет и ст.	131	123	- 6	- 4

В Центральном федеральном округе высота в крестце быков превышает среднее значение по России и доходит до 140 см у быков старше 5 лет (рис. 5). Коровы также отличаются высокорослостью – 128-130 см (рис. 6).

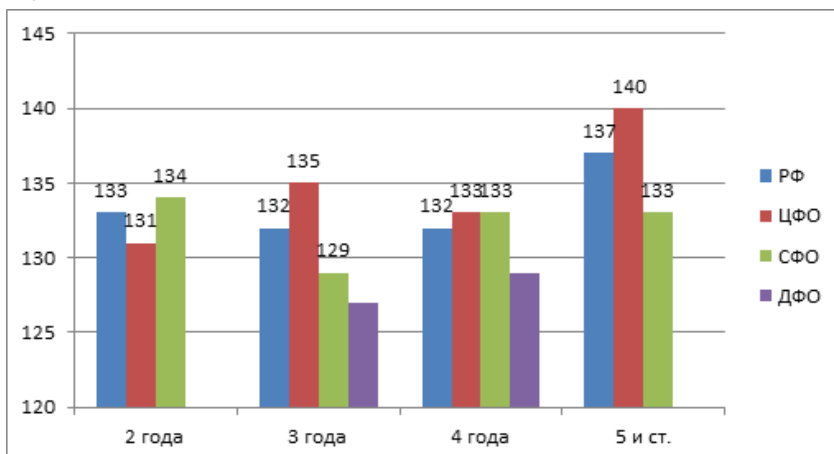


Рис. 5 – Высота в крестце быков галловейской породы в разных регионах РФ, 2023
Fig. 5 – Height at the sacrum of Galloway bulls in different regions of the Russian Federation, 2023

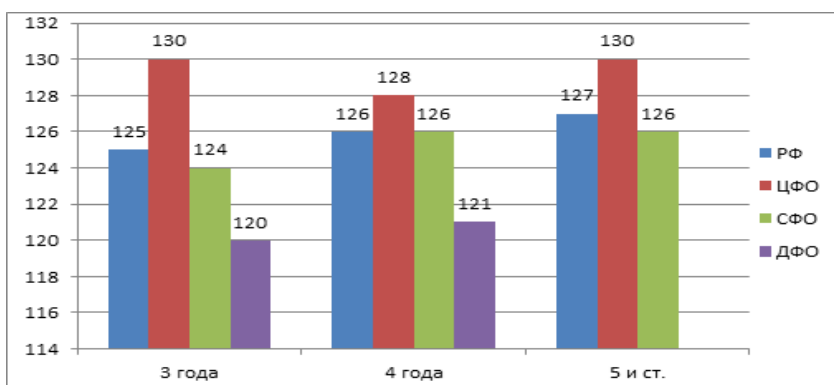


Рис.6 – Высота в крестце коров галловейской породы в разных регионах РФ, 2023
Fig. 6 – Height at the sacrum of Galloway cows in different regions of the Russian Federation, 2023.

В Сибирском федеральном округе высота в крестце быков ниже среднего значения по Российской Федерации: 129-134 см и у коров – 124-126 см.

В Дальневосточном федеральном округе галловей имеют меньшую живую массу и меньшие промеры высоты в крестце: быки – 127-131 см, коровы – 120-123 см.

Закключение

Таким образом, популяции скота галловейской породы в различных федеральных округах России имеют свои особенности. Причины данного разнообразия требуют дальнейшего изучения и анализа.

Список источников

1. Митин С. Потребление мяса в России в 2024 году достигло 83 кг на человека. INTERFAX.RU. – Москва, 25 февраля. - <https://www.interfax.ru/russia/1010715>

2. Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год) / изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2024 г. 212 с.

3. Костомахин, Н. М. Породы крупного рогатого скота. – М. : КолосС, 2011. – 119 с., [8] л. ил.

– (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

4. Определение племенной ценности галловейского скота в ФРГ и возможность использования зарубежного опыта в России / М. А. Политова, С. В. Никитина, А. А. Герасимов [и др.] // Животноводство Беларуси: вчера, сегодня, завтра : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» и 110-летию юбилею доктора сельскохозяйственных наук, профессора А. А. Гайко, Жодио, 24-25 октября 2024 года. – Минск : РУП «Белорусская наука», 2024. – С. 65-69. – EDNDCJDHM.

5. Галловейские коровы. - <https://ogorodum.ru/gallovejskie-korovy.html>

6. Хакимов, И. Н. Влияние высоты в крестце на живую массу и среднесуточные приросты молодняка герефордской породы / И. Н. Хакимов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – выпуск 3/2016. – С. 60-63.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Mitin S. Potrebleniye myasa v Rossii v 2024 godu dostiglo 83 kg na cheloveka. INTERFAX.RU. – Moskva, 25 fevralya. - <https://www.interfax.ru/russia/1010715>

2. Yezhegodnik po plemennoy rabote v myasnom skotovodstve v khozyaystvakh Rossiyskoy Federatsii (2023 god) / izd-vo FGBNU VNIIPlem, 2024 g. 212 s.



3. Kostomakhin, N. M. Porody krupnogo rogatogo skota. – M. : KolosS, 2011. – 119 s., [8] l. il. – (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy).

4. Opredeleniye plemennoy tsennosti galloveyskogo skota v FRG i vozmozhnost' ispol'zovaniya zarubezhnogo opyta v Rossii / M. A. Politova, S. V. Nikitina, A. A. Gerasimov [i dr.] // Zhivotnovodstvo Belarusi: vchera, segodnya, zavtra : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu RUP «Nauchno-prakticheskiy tsentr Natsional'noy akademii nauk Belarusi po zhivotnovodstvu» i 110-letnemu

yubileyu doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk, professora A. A. Gayko, Zhodino, 24-25 oktyabrya 2024 goda. – Minsk : RUP «Beloruskaya nauka», 2024. – S. 65-69. – EDNDCJDHM.

5. Galloveyskiye korovy. - <https://ogorodum.ru/gallovejskie-korovy.html>

6. Khakimov, I. N. Vliyaniye vysoty v kresttse na zhivuyu massu i srednesutochnnyye prirasty molodnyaka gerefordskoy porody / I. N. Khakimov // Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. – vypusk 3/2016. – S. 60-63

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

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

Герасимов Александр Александрович, канд. с.-х. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Пушкинский район, поселок Лесные поляны, Россия, a.gerasimov@vniipleм.ru

Политова Марина Александровна, канд. с.-х. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Пушкинский район, поселок Лесные поляны, Россия, politova-marina@yandex.ru

Никитина Светлана Вячеславовна, ст. научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Пушкинский район, поселок Лесные поляны, Россия, Nikst@yandex.ru

Горичев Артем Леонидович, научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», Московская область, Пушкинский район, поселок Лесные поляны, Россия, zoo.gorichev@gmail.ru

Author Information

Byistrova Irina Yu., Doctor of Agricultural Sciences, of the Department of Animal Science and Biology, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, ibystrova66@mail.ru

Gerasimov Alexander A., Candidate of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Breeding, Moscow Region, Pushkinsky District, Lesnye Polyany settlement, a.gerasimov@vniipleм.ru

Politova Marina A., Candidate of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Breeding, Moscow Region, Pushkinsky District, Lesnye Polyany settlement, politova-marina@yandex.ru

Nikitina Svetlana V., Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Breeding, Moscow Region, Pushkinsky District, Lesnye Polyany settlement, Nikst@yandex.ru

Gorichev Artem L., Research Associate, All-Russian Research Institute of Breeding, Moscow Region, Pushkinsky District, Lesnye Polyany settlement, zoo.gorichev@gmail.ru

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; одобрена после рецензирования 15.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 24.03.2025; approved after reviewing 15.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.112.9"324":631.559
DOI: 10.36508/RSATU.2025.30.30.004

УРОЖАЙНОСТЬ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ СРОКА УБОРКИ

Эльмира Фатхулловна Вафина¹✉, Татьяна Андреевна Бабайцева², Анна Владимировна Мильчакова³, Татьяна Николаевна Рябова⁴, Петр Юрьевич Логинов⁵

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

¹vaf-ef@mail.ru

²taan62@mail.ru

³milannavl@mail.ru

⁴ryabova.tatyana@inbox.ru

⁵kafedra-rasten@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель исследования – определить особенности формирования урожайности сухого вещества надземной биомассы сортов озимой тритикале при разных сроках уборки. Высевали сорта озимой тритикале Ижевская 2 и Бета, уборку проводили, начиная с фазы выхода в трубку, продолжали в течение 30-32 суток от начала колошения.

Методология. В условиях двух вегетационных периодов 2023 и 2024 гг. проведены полевые двух-факторные опыты на опытном поле Удмуртского ГАУ. Исследования проведены по общепринятым в агрономии методикам на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве средней степени окультуренности.

Результаты. Метеорологические условия в годы проведения исследований отличались по температурному режиму и количеству осадков. В менее благоприятном 2023 г. урожайность сухого вещества надземной биомассы как в первом (2,03–3,75 т/га), так и во втором укосе (0,46–1,06 т/га) значительно уступала аналогичным показателям, полученным в 2024 г.: 2,33–9,65 т/га и 2,48–8,22 т/га соответственно. Независимо от срока уборки, укоса преимущество по урожайности имел сорт Ижевская 2 в оба года исследований. Урожайность сухого вещества сорта Бета возрастала от фазы выхода в трубку до начала колошения, у сорта Ижевская 2 – от фазы выхода в трубку до колошения и в течение 5-7 и более суток после начала колошения. Рост урожайности связан с формированием более высокорослых растений с большей облиственностью. При этом облиственность к более поздним срокам уборки возрастала до 48-60 % в связи с увеличением доли соцветия в общей биомассе.

Заключение. Исходя из этого, более продуктивными являются посевы озимой тритикале для использования на зеленый корм, убранные в фазе начала колошения у сорта Бета и убранные в начале колошения и в течение 5-7 суток от него у сорта Ижевская 2.

Ключевые слова: озимая тритикале, сорт, срок уборки, сухое вещество, облиственность

Для цитирования: Вафина Э.Ф., Бабайцева Т.А., Мильчакова А.В., Рябова Т.Н., Логинов П.Ю. Урожайность сухого вещества озимой тритикале в зависимости от срока уборки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.20-27. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.30.30.004>

Original article

THE YIELD OF DRY MATTER OF WINTER TRITICALE, DEPENDING ON THE HARVEST PERIOD

Elmira F. Vafina¹✉, Tatiana A. Babaytseva², Anna V. Milchakova³, Tatiana N. Ryabova⁴, Peter Yu. Loginov⁵

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

¹vaf-ef@mail.ru

²taan62@mail.ru

³milannavl@mail.ru

⁴ ryabova.tatyana@inbox.ru⁵ kafedra-rasten@mail.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The purpose of the study is to determine the features of the formation of the yield of the dry matter of the aboveground biomass of winter triticale varieties at different harvest times. Winter triticale Izhevsk 2 and Beta varieties were sown, harvesting was carried out starting from the tube exit phase and continued for 30-32 days from the beginning of earing.

Methodology. Under the conditions of two growing seasons in 2023 and 2024, field two-factor experiments were conducted at the experimental field of the Udmurt State Agrarian University. The research was carried out using methods generally accepted in agronomy on sod-medium-podzolic medium-loamy soil of medium degree of cultivation.

Results. The meteorological conditions during the years of the research differed in terms of temperature and precipitation. In the less favorable 2023, the yield of above-ground biomass dry matter in both the first (2.03–3.75 t/ha) and the second mowing (0.46–1.06 t/ha) was significantly lower than the same indicators obtained in 2024. 2.33–9.65 t/ha and 2.48–8.22 t/ha, respectively. Regardless of the harvest period, the Izhevsk 2 variety had the advantage in yield in both years of research. The yield of dry matter in the Beta variety increased from the phase of entering the tube to the beginning of earing, in the Izhevsk 2 variety – from the phase of entering the tube to earing and for 5-7 or more days after the beginning of earing. The increase in yield is associated with the formation of taller plants with more foliage. At the same time, the foliage increased to 48-60% by later harvest dates due to an increase in the proportion of inflorescence in the total biomass.

Conclusion. Based on this, winter triticale crops for use on green fodder are more productive, harvested at the beginning of earing in the Beta variety and harvested at the beginning of earing and within 5-7 days from it in the Izhevsk 2 variety.

Key words: winter triticale, variety, harvest time, dry matter, foliage

For citation: Vafina E.F., Babaytseva T.A., Milchakova A.V., Ryabova T. N., Loginov P. Y. Yield of dry matter of winter triticale depending on the harvest period // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P. 20-27 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.30.30.004](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.30.30.004)

Введение

В связи с интенсивным развитием животноводческой отрасли в настоящее время отмечается повышенный интерес агропроизводителей к тритикале зернофуражного и зеленоукосного направлений использования [1, 2, 4, 6, 12]. Г. П. Майсак [7], Г. Н. Потапова [10], С. И. Гриб [5] считают, что кормовые сорта тритикале предназначены для замены пшеницы в зеленом конвейере и заполняют в нем интервал между озимой рожью и многолетними травами. Они имеют высокую кустистость (4-8 стеблей), хорошую облиственность, высокую скорость отрастания после скашивания, дольше сохраняют кормовые качества по сравнению с рожью и пшеницей.

По данным В. Н. Буштевич [11], в первый срок уборки (ВВСН 32) средняя урожайность зеленой массы тритикале озимого по сортам белорусской селекции составила 144,7 ц/га. В дальнейшем наблюдалось существенное увеличение зеленой массы до 459,2 ц/га в фазу начала колошения, а к фазе полного колошения сорта прекращали ее наращивать. А. И. Грабовец [3] отмечает превосходство зеленой массы тритикале по содержанию протеина, сахаров и каротиноидов, что обеспечивает более высокий привес животных и лучшую поедаемость зеленой массы тритикале, чем ржи.

Таким образом, озимая тритикале имеет ряд положительных сторон при использовании ее зеленой массы на кормовые цели. Исследование формирования урожайности зеленой массы, ее

качества у озимой тритикале сорта Ижевская 2 (являющейся региональным стандартом при сортоиспытании на кормовые цели), а также других районированных сортов в зависимости от сроков уборки в регионе не проведено.

Цель исследования – определить особенности формирования урожайности сухого вещества надземной биомассы сортов озимой тритикале при разных сроках уборки.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты по изучению сроков уборки сортов озимой тритикале проводили в экспериментальном севообороте кафедры растениеводства, земледелия и селекции Удмуртского ГАУ (опытное поле в с. Июльское Воткинского района Удмуртской Республики) согласно общепринятым в агрономии методикам [8, 9]. Опыты двухфакторные – по фактору А (сорт) две градации, по фактору В (срок уборки) восемь градаций. Полная схема опытов приведена в таблицах 1,2. Посев делянок проведен в первой декаде сентября в 2023 г., в последней декаде августа в 2024 г. Предшественник озимой тритикале – рапс яровой на сидерат. Рапс заделывали в почву дисковой бороной. За неделю до посева культивация; внесение сложного удобрения и предпосевная культивация в день посева. Весной – подкормка аммиачной селитрой (N₃₀). Норма высева 5 млн всхожих семян на 1 га. Почва опытных участков – дерново-среднеподзолистая средней степени окультуренности. Периоды вегетации 2023 и 2024 гг. сильно отличались



друг от друга. Более благоприятные условия для осеннего развития растений сортов озимой тритикале складывались в 2022 г. – выпало 58 мм осадков при среднесуточной температуре воздуха 10,0° С; в период посев- всходы в 2023 г. выпало 20 мм осадков, среднесуточная температура воздуха составила 13,0° С. В весенне-летний период, наоборот, более увлажненные условия в сочетании с относительно невысокой температурой воздуха наблюдали в 2024 г. Фазы выход в трубку-колошение в 2023 г. проходили при остром недостатке осадков и повышенной температуре воздуха.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования 2023-2024 гг. показали зависимость урожайности сухого вещества от срока проведения уборки (табл. 1-2). В 2023 г. в связи с засушливыми жаркими условиями продолжи-

тельность фаз вегетации сокращалась, растения быстрее достигали репродуктивного развития. Влажность надземной биомассы растений была наибольшей – 78 % при первом сроке уборки и снижалась до 19 % при последнем сроке. Урожайность сухого вещества была невысокой – 2,03-2,61 т/га у сорта Бета, 2,35-3,75 т/га у сорта Ижевская 2. В среднем по опыту большую урожайность формировал сорт Ижевская 2. Урожайность сухого вещества у обоих сортов была наименьшей при уборке в фазе выхода в трубку: 2,03 и 2,35 т/га соответственно. Проведение уборки в более поздние сроки обеспечило получение урожайности сухого вещества на одном уровне 2,45-2,61 т/га у сорта Бета, 3,45-3,75 т/га у сорта Ижевская 2 при НСР₀₅ частных различий по фактору В = 0,31 т/га.

Таблица 1 – Урожайность сухого вещества сортов озимой тритикале при разных сроках уборки, т/га (2023 г.)

Срок уборки (В)	Сорт (А)		Среднее В	
	Бета	Ижевская 2 (к)		
Первый укос				
Выход в трубку	2,03	2,35	2,19	
Начало колошения (к)	2,45	3,45	2,95	
Через 5-7 сут. от начала колошения	2,43	3,52	2,97	
Через 10-12 сут. от начала колошения	2,51	3,54	3,03	
Через 15-17 сут. от начала колошения	2,54	3,56	3,05	
Через 20-22 сут от начала колошения	2,56	3,70	3,13	
Через 25-27 сут. от начала колошения	2,57	3,73	3,15	
Через 30-32 сут. от начала колошения	2,61	3,75	3,18	
Среднее А	2,46	3,45	-	
Второй укос				
Выход в трубку	0,50	0,57	0,54	
Начало колошения (к)	0,58	0,88	0,73	
Через 5-7 сут. от начала колошения	0,61	0,89	0,75	
Через 10-12 сут. от начала колошения	0,60	1,06	0,83	
Через 15-17 сут. от начала колошения	0,56	1,01	0,79	
Через 20-22 сут. от начала колошения	0,56	1,05	0,81	
Через 25-27 сут. от начала колошения	0,53	0,95	0,74	
Через 30-32 сут. от начала колошения	0,46	0,98	0,72	
Среднее А	0,55	0,92	-	
НСР ₀₅	первый укос		второй укос	
	главных эффектов	частных различий	главных эффектов	частных различий
А (сорт)	0,12	0,34	0,12	0,35
В (срок уборки)	0,22	0,31	0,13	0,18

Повышенная температура воздуха и отсутствие осадков не позволило растениям озимой тритикале сформировать полноценный второй укос – растения очень быстро развивались, не успевая наращивать массу; влажность зеленой массы при уборке в фазе выхода в трубку не превышала 70 %, достигая к уборке в последний срок 14 %. Во втором укосе сорта отличились по накоплению сухой биомассы. У сорта Бета урожай-

ность сухого вещества по вариантам сроков уборки была на одном уровне 0,46-0,61 т/га. У сорта Ижевская 2 наименьшая урожайность получена при уборке в фазе выхода в трубку – 0,57 т/га. При остальных изучаемых сроках уборки урожайность была на одном уровне 0,88-1,06 т/га (НСР₀₅ частных различий по фактору В = 0,18 т/га).

В 2024 г. в фазе выхода в трубку оба сорта формировали наименьшую урожайность сухого



вещества: 3,14 и 2,99 т/га соответственно. К фазе начала колошения урожайность обоих сортов существенно возросла на 2,55-4,40 т/га, преимущество по урожайности на 2,00 т/га имел сорт Бета. При уборке в начале колошения, через 5-7 и 10-12 суток от него у сорта Бета урожайность сухого вещества 7,50-7,58 т/га была на одном уровне. При более поздней уборке выявлена тенденция роста сбора сухого вещества, как при сравнении с урожайностью самого раннего срока уборки, так и с урожайностью контрольного варианта.

У сорта Ижевская 2 урожайность сухого вещества возрастала от фазы выхода в трубку до уборки через 10-12 суток от начала колошения. Уборка через 15-17, 20-22, 25-27, 30-32 суток обеспечивала одинаковую урожайность сухого вещества – 9,45-9,65 т/га. При поздних сроках уборки

растения озимой тритикале достигали фазы молочно-тестообразного состояния зерна, переходя к началу восковой спелости зерна. Повышение урожайности сухого вещества надземной биомассы в эти сроки связываем с физиологическим состоянием растений.

Независимо от срока уборки более продуктивным был сорт Ижевская 2, сформировавший урожайность 7,91 т/га. Не учитывая сортовые особенности, анализ урожайности по срокам уборки показал возрастание сбора сухого вещества от ранней уборки (фаза выхода в трубку) до поздней (через 30-32 суток от начала колошения). Влажность зеленой массы при уборке в динамике изменялась от 79-80 % (самый ранний срок) до 48-54 % (самый поздний срок).

Таблица 2 – Урожайность сухого вещества сортов озимой тритикале при разных сроках уборки, т/га (2024 г.)

Срок уборки (В)	Сорт (А)		Среднее В	
	Бета	Ижевская 2 (к)		
Первый укос				
Выход в трубку	3,14	2,99	3,07	
Начало колошения (к)	7,54	5,54	6,54	
Через 5-7 сут. от начала колошения	7,50	7,80	7,65	
Через 10-12 сут. от начала колошения	7,58	8,83	8,21	
Через 15-17 сут. от начала колошения	7,84	9,47	8,66	
Через 20-22 сут. от начала колошения	7,99	9,58	8,79	
Через 25-27 сут. от начала колошения	8,43	9,65	9,04	
Через 30-32 сут. от начала колошения	8,75	9,45	9,10	
Среднее А	7,35	7,91	-	
Второй укос				
Выход в трубку	2,48	3,41	2,94	
Начало колошения (к)	8,22	7,79	8,01	
Через 5-7 сут. от начала колошения	4,41	5,82	5,12	
Через 10-12 сут. от начала колошения	4,09	5,32	4,70	
Через 15-17 сут. от начала колошения	4,51	4,35	4,43	
Через 20-22 сут. от начала колошения	3,16	4,24	3,70	
Через 25-27 сут. от начала колошения	2,75	4,01	3,38	
Через 30-32 сут. от начала колошения	2,64	3,92	3,28	
Среднее А	4,03	4,86	-	
НСР ₀₅	первый укос		второй укос	
	главных эффектов	частных различий	главных эффектов	частных различий
А (сорт)	0,12	0,34	0,37	1,04
В (срок уборки)	0,22	0,31	0,48	0,68

На делянках, убранных в фазе выхода в трубку, растения озимой тритикале сформировали второй укос (через 21 сутки после уборки). На пробных площадках данных делянок определяли динамику накопления сухого вещества, высоты растений, их облиственности. Во втором укосе преимущество по сбору сухого вещества имел сорт Ижевская 2 – 4,86 т/га, или на 0,83 т/га больше в сравнении с сортом Бета. Оба сорта формировали наибольший сбор сухого вещества при уборке в фазе начала

колошения – 8,22 и 7,79 т/га соответственно. При более поздней уборке (через 5-7 суток от начала колошения и после) сбор сухого вещества существенно снижался у обоих сортов.

Урожайность по вариантам опыта обусловлена изменениями элементов структуры урожайности. Высота растений первого укоса в 2023 г. возрастала до фазы колошения и в течении 15-22 суток от нее (рис. 1). Более высокорослыми были растения Ижевской 2, достигавшие 79-82 см в первом



укосе, 27-32 см во втором укосе. Неблагоприятные условия летнего периода вегетации способствовали формированию невысоких растений во втором укосе, причем растения сорта Бета по вариантам с разными сроками уборки были одинаковой вы-

соты 23-25 см. У Ижевской 2 растения после фазы колошения превосходили по высоте растения в фазе выхода в трубку (23 см) и в начале колошения (23 см).

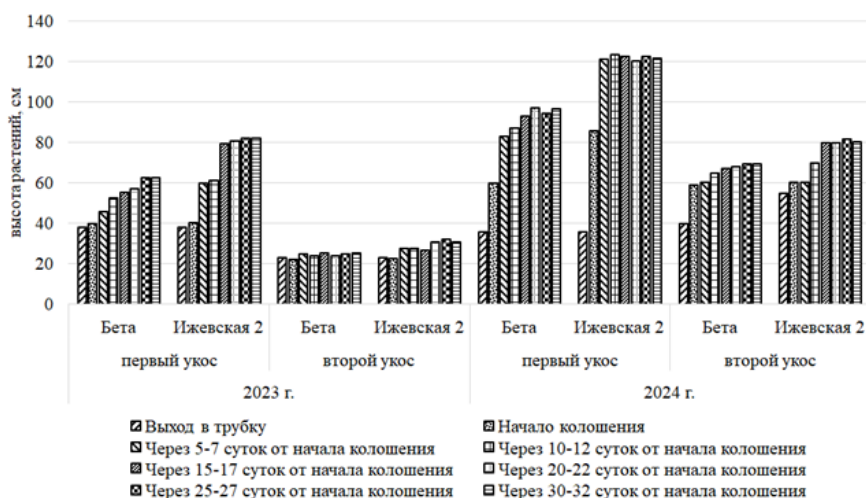


Рис. 1 – Высота растения сортов озимой тритикале при разных сроках уборки, см
Fig. 1 – Plant height of winter triticale varieties at different harvest times, cm

Более высокорослым в 2024 г. был сорт Ижевская 2, его высота достигала 120-124 см к фазе начала колошения и после нее. Интенсивный прирост в высоту у сортов наблюдался от фазы выхода в трубку до начала колошения и через 5-7 суток после него. Растения второго укоса 2024 г. имели меньшую высоту (в сравнении с высотой растений в первом укосе), достигая значений 70 см (Бета) и 80-82 см (Ижевская 2) при поздних сроках уборки. Существенный прирост в высоту у сорта Бета определен в период «5-7 суток от начала колошения» - «10-12 суток от начала колошения», у сорта

Ижевская 2 в этот же период и позднее.

Важным показателем, определяющим урожайность надземной биомассы, является густота стеблестоя. В оба года исследований у изучаемых сортов в оба укоса густота стеблей снижалась, что обусловлено редукцией побегов кущения по мере старения растений (рис. 2). Метеоусловия года исследования отразились и на данном показателе – в 2023 г. их количество (независимо от сорта) не превышало 406-446 шт./м² в первом укосе, 196-218 шт./м² во втором укосе; в 2024 г. 481-520 шт./м² и 424-465 шт./м² соответственно.

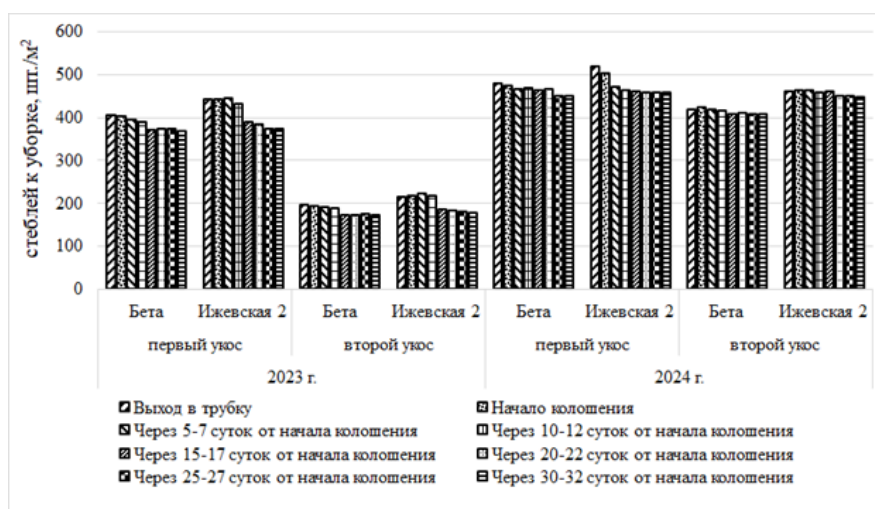


Рис. 2 – Густота стеблей к уборке сортов озимой тритикале при разных сроках уборки, шт./м²
Fig. 2 – The density of stems for harvesting winter triticale varieties at different harvest times, pcs/m²

Облиственность растений показывает долю листьев и соцветий в общей надземной биомассе. По данным ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», листья и соцветия содержат значительно больше

питательных веществ, чем стебли, поэтому облиственность является одним из важных показателей питательной ценности. Облиственность растений в 2023 г. была на одном уровне при уборке сортов



озимой тритикале в фазе выхода в трубку, начале колошения и в течение 5-12 суток от него (табл. 3). Такая тенденция определена в травостое как первого, так и второго укосов. При более поздней уборке облиственность растений сортов возрас-

тала до 50-52 % в первом укосе, до 40-42 % во втором укосе. Такое возрастание облиственности связано с интенсивным отмиранием листьев растений и формированием зерна в колосе.

Таблица 3 – Облиственность растений сортов озимой тритикале при разных сроках уборки, %

Срок уборки (В)			Первый укос		Второй укос					
			Бета	Ижевская 2 (к)	Бета		Ижевская 2 (к)			
2023 г.										
Выход в трубку			29	26	19		16			
Начало колошения (к)			31	32	21		22			
Через 5-7 сут. от начала колошения			29	30	19		20			
Через 10-12 сут. от начала колошения			29	35	21		25*			
Через 15-17 сут. от начала колошения			48*	36*	38*		26*			
Через 20-22 сут. от начала колошения			48*	51*	38*		41*			
Через 25-27 сут. от начала колошения			48*	52*	38*		42*			
Через 30-32 сут. от начала колошения			50*	52*	40*		42*			
Среднее А			39	39	29		29			
2024 г.										
Выход в трубку			46	45	39		31			
Начало колошения (к)			42	47	53		38			
Через 5-7 сут. от начала колошения			40	39	56		36			
Через 10-12 сут. от начала колошения			41	38	58*		44*			
Через 15-17 сут. от начала колошения			39	41	60*		47*			
Через 20-22 сут. от начала колошения			45*	44*	59*		48*			
Через 25-27 сут. от начала колошения			45*	44*	62*		51*			
Через 30-32 сут. от начала колошения			49*	46*	60*		52*			
Среднее А			43	43	56		43			
НСР ₀₅			2023 г.				2024 г.			
			первый укос		второй укос		первый укос		второй укос	
			А	В	А	В	А	В	А	В
главных эффектов			F _φ < F ₀₅	5	F _φ < F ₀₅	4	F _φ < F ₀₅	3	1	2
частных различий			F _φ < F ₀₅	7	F _φ < F ₀₅	6	F _φ < F ₀₅	4	3	3

* – доля соцветия во фракции «листья + соцветия» составляла 90 % и более

В 2024 г. облиственность растений первого укоса достоверно изменялась в зависимости от срока уборки. Наибольшей она была в фазе выхода в трубку у сорта Бета – 46 %, у сорта Ижевская 2 – в период выход в трубку-начало колошения – 45-47 %. При проведении уборки через 20-22 суток от начала колошения и позже облиственность снова возрастала до 44-49 % за счет увеличения доли соцветия, при этом листья на растениях желтели, засыхали, отмирали. Развитие растений во втором укосе проходило более быстрыми темпами; влажность зеленой массы в ранние сроки уборки составила 70 %, снижаясь к поздним срокам до 50 %. В связи с этим у более скороспелого сорта Бета облиственность к последним срокам уборки достигала 60-62 % за счет формирования колоса и увеличения его доли в общей массе пробы.

Заключение

В первом укосе большую урожайность сухого вещества – 3,45 т/га в 2023 г. и 7,91 т/га в

2024 г. обеспечил сорт Ижевская 2. В оба года у сорта Бета существенный прирост урожайности сухого вещества выявлен в фазе начала колошения, у сорта Ижевская 2 – в фазе начала колошения и в течение 5-7 суток от него. В сравнении с контрольным сроком уборки (начало колошения) в 2023 г. урожайность более поздних сроков уборки не изменялась. В 2024 г. существенная прибавка урожайности в сравнении с контролем у сорта Бета выявлена при уборке через 30-32 суток от начала колошения, у сорта Ижевская 2 – как через 5-7 суток от начала колошения, так и в более поздние сроки. Рост урожайности обусловлен увеличением высоты растений и их облиственности. Накопление сухого вещества и его обоснование элементами структуры урожайности во втором укосе имело те же закономерности, что и в первом укосе – преимущество у сорта Ижевская 2 в 0,37 т/га в 2023 г., 0,83 т/га в 2024 г. за счет большего количества стеблей – 200 и 458 шт./м² и вы-



соты растений 28 и 71 см соответственно. Для обоих сортов во втором укосе 2024 г. оптимальной была уборка в фазе начала колошения, обеспечившая сбор сухого вещества 7,79-8,22 т/га при густоте стеблей 424-465 шт./м², облиственности растений 38-53 %. Уборка травостоев второго укоса в 2023 г. была нецелесообразна в связи с их низкой урожайностью.

Список источников

1. Буштевич, В. Н. Благо 16 - современный белорусский сорт тритикале / В. Н. Буштевич, М. А. Дашкевич, Н. П. Шишлова // Белорусское сельское хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 90-91. – EDN LBRNZP.

2. Вафина, Э. Ф. Программирование урожайности сухого вещества озимой тритикале в Удмуртской Республике / Э. Ф. Вафина // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика : Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию агрономического факультета, Киров, 17 декабря 2024 года. – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 29-33. – EDN MZILPA.

3. Грабовец, А. И. Перспективы возделывания озимого тритикале в Центральном регионе России / А. И. Грабовец, А. В. Крохмаль // Владимирский земледелец. – 2012. – № 1. – С. 16-19. – EDN PAXXIZ.

4. Значение зернокармливых сортов тритикале в увеличении производства кормов в Краснодарском крае / В. Я. Ковтуненко, В. Б. Тимофеев, Л. Ф. Дудка [и др.] // Эволюция научных технологий в растениеводстве : Сборник научных трудов, посвященный 90-летию КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Российская академия сельскохозяйственных наук, Краснодарский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко. Том 2. – Краснодар : ООО "Просвещение-Юг", 2004. – С. 21-31. – EDN ZTONDF.

5. Использование тритикале озимого на зеленый корм при разных сроках скашивания / С. И. Гриб, В. Н. Буштевич, М. А. Дашкевич [и др.] // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы : сборник научных трудов. Том 51. – Гродно : Гродненский государственный аграрный университет, 2020. – С. 55-64. – EDN QSOFTO.

6. Крохмаль, А. В. Урожайность и параметры

адаптивности тритикале на зеленый корм в условиях степной зоны Ростовской области / А. В. Крохмаль, Е. А. Гординская, Н. И. Барулина // Зерновое хозяйство России. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 81-89. – DOI 10.31367/2079-8725-2024-93-4-81-89. – EDN ZAFQYI.

7. Майсак, Г. П. Урожайность озимых культур при разных сроках скашивания и качество силоса и зерносенажа в Среднем Предуралье / Г. П. Майсак, В. А. Волошин // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 3(15). – С. 41-48. – EDN WKYCGZ.

8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2 / Под общ. ред. М. А. Федина: Гос. ком. по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при МСХ СССР. – М.: 1989. – 194 с.

9. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / сост. Ю. К. Новоселов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов [и др.]. – М.: РАСХН, 1997. – 155 с.

10. Потапова, Г. Н. Перспективы использования посевов озимой тритикале на корм в Свердловской области / Г. Н. Потапова, Н. Л. Зобнина // Координационный совет по селекции и семеноводству зернофуражных культур : Материалы Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 24–26 июля 2019 года. – Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2019. – С. 86-91. – EDN UEFNRQ.

11. Сорта озимого тритикале как источники фуражного зерна и зеленого корма в условиях Беларуси / В. Н. Буштевич, М. А. Дашкевич, Е. И. Позняк, Н. П. Шишлова // Научное обеспечение животноводства Сибири : материалы III международной научно-практической конференции, Красноярск, 16–17 мая 2019 года. – Красноярск: Красноярский научно-исследовательский институт животноводства - обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр "Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук", 2019. – С. 16-19. – EDN KZVJAH.

12. Hanoğlu Oral H. Forage yields and nutritive values of oat and triticale pastures for grazing sheep in early spring PeerJ. 2024 Aug 22;12: e17840. doi: 10.7717/peerj.17840.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Bushtevich, V. N. Blago 16 - sovremennyy belorusskiy sort tritikale / V. N. Bushtevich, M. A. Dashkevich, N. P. Shishlova // Belorusskoe sel'skoe hozyajstvo. – 2019. – № 4. – С. 90-91. – EDN LBRNZP.

2. Vafina, E. F. Programirovanie urozhajnosti suhogo veshchestva ozimoy tritikale v Udmurt-skoj Respublike / E. F. Vafina // Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki: teoriya i praktika : Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, po-svyashchyonnoj 80-letiyu agronomicheskogo fakul'teta, Kirov, 17 dekabrya 2024 goda. – Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskij universitet, 2024. – С. 29-33. – EDN MZILPA.

3. Grabovec, A. I. Perspektivy vozdelevaniya ozimogo tritikale v Central'nom regione Rossii / A. I. Grabovec, A. V. Krohmal' // Vladimirskij zemledec. – 2012. – № 1. – С. 16-19. – EDN PAXXIZ.

4. Znachenie zernokormovyh sortov tritikale v uvelichenii proizvodstva kormov v Krasnodar-skoy krae /



V. Ya. Kovtunenکو, V. B. Timofeev, L. F. Dudka [i dr.] // Evolyuciya nauchnyh tekhnologij v rastenievodstve : Sbornik nauchnyh trudov, posvyashchennyj 90-letiyu KNIISH im. P.P. Luk'yanenko / Rossijskaya akademiya sel'skohozyajstvennyh nauk, Krasnodarskij ordena Lenina i ordena Trudovogo Krasnogo Znamenii nauchno-issledovatel'skij institut sel'skogo hozyajstva im. P.P. Luk'yanenko. Tom 2. – Krasnodar : OOO "Prosveshchenie-Yug", 2004. – S. 21-31. – EDN ZTONDF.

5. Ispol'zovanie tritikale ozimogo na zelenyj korm pri raznyh srokah skashivaniya / S. I. Grib, V. N. Bushtevich, M. A. Dashkevich [i dr.] // Sel'skoe hozyajstvo - problemy i perspektivy : sbor-nik nauchnyh trudov. Tom 51. – Grodno : Grodnenskiy gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020. – S. 55-64. – EDN QSOFTO.

6. Krohmal', A. V. Urozhajnost' i parametry adaptivnosti tritikale na zelenyj korm v uslo-viyah stepnoj zony Rostovskoj oblasti / A. V. Krohmal', E. A. Gordinskaya, N. I. Barulina // Zerno-voe hozyajstvo Rossii. – 2024. – T. 16, № 4. – S. 81-89. – DOI 10.31367/2079-8725-2024-93-4-81-89. – EDN ZAFQYI.

7. Majsak, G. P. Urozhajnost' ozimyh kul'tur pri raznyh srokah skashivaniya i kachestvo silosa i zernosenazha v Srednem Predural'e / G. P. Majsak, V. A. Voloshin // Permskiy agrarnyj vestnik. – 2016. – № 3(15). – S. 41-48. – EDN WKYCGZ.

8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Vyp. 2 / Pod obshch. red. M. A. Fedina: Gos. kom. po sortoispytaniyu sel'skohozyajstvennyh kul'tur pri MSH SSSR. – M.: 1989. – 194 s.

9. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevyh opytov s kormovymi kul'turami / sost. Yu. K. Novoselov, V. N. Kireev, G. P. Kutuzov [i dr.]. – M.: RASHN, 1997. – 155 s.

10. Potapova, G. N. Perspektivy ispol'zovaniya posevov ozimoy tritikale na korm v Sverdlov-skoj oblasti / G. N. Potapova, N. L. Zobnina // Koordinacionnyj sovet po selekcii i semenovodstvu zernofurazhnyh kul'tur : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ekaterin-burg, 24–26 iyulya 2019 goda. – Ekaterinburg: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'skiy dom «Sreda», 2019. – S. 86-91. – EDN UEFNRQ.

11. Sorta ozimogo tritikale kak istochniki furazhnogo zerna i zelenogo korma v usloviyah Bela-rusi / V. N. Bushtevich, M. A. Dashkevich, E. I. Poznyak, N. P. Shishlova // Nauchnoe obespechenie zhivotno-vodstva Sibiri : materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnoyarsk, 16–17 maya 2019 goda. – Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy nauchno-issledovatel'skiy institut zhivotnovodstva - obosoblennoe podrazdelenie Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo nauchnogo uchrezhdeniya Federal'nyj issledovatel'skiy centr "Krasnoyarskiy nauchnyj centr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk", 2019. – S. 16-19. – EDN KZVJAH.

12. Hanoğlu Oral H. Forage yields and nutritive values of oat and tritcale pastures for grazing sheep in early spring PeerJ. 2024 Aug 22;12: e17840. doi: 10.7717/peerj.17840.

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

Вафина Эльмира Фатхулловна, д-р с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», vaf-ef@mail.ru

Бабайцева Татьяна Андреевна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», taan62@mail.ru

Мильчакова Анна Владимировна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», milannavl@mail.ru

Рябова Татьяна Николаевна, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ryabova.tatyana@inbox.ru

Логинов Петр Юрьевич, аспирант кафедры растениеводства, земледелия и селекции, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», kafedra-rasten@mail.ru

Author Information

Vafina Elmira F., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Babaytseva Tatiana A., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Milchakova Anna V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Ryabova Tatiana N., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Loginov Peter Yu., postgraduate student of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Статья поступила в редакцию 24.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 24.04.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 28-34
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp.28-34

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 551.525(476.1)
DOI: 10.36508/RSATU.2025.57.34.005

МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОГО РАЙОНА

Юлия Петровна Городнюк¹, Александр Александрович Волчек²✉, Юрий Анатольевич Мажайский³, Светлана Васильевна Сидак⁴, Иван Николаевич Розумец⁵

^{1,2,4,5} Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

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

²volchak@tut.by

³director@mntc.pro

Аннотация.

Проблема и цель. Для успешного инвестирования в сельское хозяйство необходимо заранее просчитывать все риски. Поэтому актуальной остается проблема разработки модели урожайности, которая бы учитывала все природные и климатические особенности региона. Это позволит более эффективно принимать решения о вложении средств в аграрный сектор. Исследования направлены на создание инновационной модели прогнозирования урожайности озимых зерновых культур. В качестве примера для разработки модели выбран Брестский район, а основой для прогнозирования послужил анализ исторических данных об урожайности и климатических условиях.

Методология. В рамках данного исследования для анализа урожайности использована регрессионная двухкомпонентная модель, которая позволяет учитывать как трендовую, так и случайную составляющие. Трендовая составляющая отражает долгосрочные изменения в урожайности, обусловленные такими факторами, как улучшение агротехнологий, селекция и изменения в управлении сельским хозяйством. Случайная составляющая модели учитывает колебания урожайности, связанные с климатическими факторами, которые могут существенно влиять на рост и развитие растений.

Результаты. В результате комплексного исследования, охватывающего период с 1981 по 2020 год, выявлена тесная взаимосвязь между климатическими факторами и продуктивностью озимых зерновых культур в Брестском районе. На основе полученных данных создана усовершенствованная модель прогнозирования, демонстрирующая высокую степень точности (с абсолютной погрешностью 1,8 ц/га и относительной – 7,2 %).

Заключение. Разработанная прогностическая модель позволяет эффективно планировать сельскохозяйственную деятельность: рассчитывать потенциальный урожай, формировать аграрную стратегию, оптимизировать бюджетные расходы на поддержку агросектора, корректировать структуру посевных площадей и обеспечивать контроль над продовольственной безопасностью региона.

Ключевые слова: изменение климата, температура воздуха, осадки, урожайность, регрессия, озимые зерновые, модель

Для цитирования: Городнюк Ю.П., Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Сидак С.В., Розумец И.Н. Моделирование урожайности озимых зерновых в современных климатических условиях на примере Брестского района // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.28-34 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.57.34.005>

Original article

MODELING OF WINTER GRAIN PRODUCTIVITY IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS USING THE EXAMPLE OF THE BREST DISTRICT

Julia P. Haradniuk ¹, Alexander A. Volchak ²✉, Yuri A. Mazhayskiy ³, Svetlana V. Sidak ⁴, Ivan N. Rozumets⁵

^{1,2,4,5} Brest State Technical University, Brest, Belarus

³ Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

© Городнюк Ю.П., Волчек А.А., Мажайский Ю.А., Сидак С.В., Розумец И.Н., 2025.

² volchak@tut.by³ director@mntc.pro**Abstract.**

Problem and purpose. For successful investment in agriculture, it is necessary to calculate all risks in advance. Therefore, the problem of developing a yield model that would take into account all the natural and climatic features of the region remains relevant. This will allow more effective decision-making on investing in the agricultural sector. The research is aimed at creating an innovative model for forecasting the yield of winter grain crops. The Brest region was chosen as an example for developing the model, and the basis for forecasting will be an analysis of historical data on yield and climatic conditions.

Methodology. In this study, a two-component regression model was used to analyze crop yield, which allows taking into account both trend and random components. The trend component reflects long-term changes in yields due to factors such as improvements in agricultural technology, selection, and changes in agricultural management. The random component of the model takes into account yield fluctuations associated with climatic factors, which can significantly affect plant growth and development.

Results. As a result of a comprehensive study covering the period from 1981 to 2020, a close relationship was revealed between climatic factors and the productivity of winter grain crops in the Brest region. Based on the data obtained, an improved forecasting model was created, demonstrating a high degree of accuracy (with an absolute error of 1.8 c/ha and a relative error of 7.2%).

Conclusion. The developed forecast model allows for effective planning of agricultural activities: calculating potential yields, developing an agricultural strategy, optimizing budget expenditures to support the agricultural sector, adjusting the structure of crop areas, and ensuring control over food security in the region.

Key words: climate change, air temperature, precipitation, yield, regression, winter grains, model

For citation: Haradniuk Ju. P., Volchak A. A., Mazhayskiy Yu. A., Sidak S. V., Rozumets I. N. Modeling of winter grain productivity in modern climatic conditions using the example of the Brest district // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 28-34 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.57.34.005>

Введение

В Беларуси озимые зерновые культуры занимают лидирующие позиции в сельскохозяйственном секторе, что подтверждается 5-м местом страны в СНГ по производству зерна на душу населения [1]. Успешное выращивание озимых зерновых культур выступает важнейшим показателем благополучия страны, затрагивая множество сфер: от экономической стабильности и продовольственной независимости до социального благополучия населения и экологического равновесия.

Информация об ожидаемых оценках урожайности озимых зерновых культур играет важную роль в принятии решений на различных уровнях: от индивидуальных фермеров до государственных структур. На основе таких данных фермеры планируют предстоящие посевные работы, подбирают оптимальные сорта и совершенствуют агротехнические методы. Государственные органы, в свою очередь, используют эту информацию для формирования аграрной политики и разработки устойчивых моделей сельскохозяйственной деятельности.

На формирование урожая озимых зерновых влияет целый комплекс условий. Успешность выращивания зависит от генетических особенностей растений, а также от того, как складываются энергетические, водные и питательные условия в почве и атмосфере. Эти условия, в свою очередь, зависят от климата и качества агротехнических мероприятий.

Каждая сельскохозяйственная культура в процессе эволюции выработала свои оптимальные требования к факторам окружающей среды. В разные периоды вегетации растения по-разному

нуждаются в тепле, влаге и питательных веществах, что проявляется в виде индивидуальных предпочтений к различным элементам среды [2].

За последние тридцать лет климатические изменения существенно повлияли на то, как погодные условия сказываются на урожае озимых зерновых [3]. Повышение температуры при неизменном количестве годовых осадков приводит к учащению и удлинению периодов засухи, что крайне негативно отражается на сельском хозяйстве. Взаимосвязь между климатическими факторами и урожайностью становится всё сложнее, что требует глубокого понимания этих процессов для создания эффективных механизмов адаптации к климатическим изменениям и обеспечения стабильного продовольственного снабжения.

Согласно проведенным исследованиям, воздействие климатических изменений будут испытывать все сельскохозяйственные культуры по всему миру [4]. Неблагоприятные изменения в урожайности и объемах фактически собранной сельскохозяйственной продукции, обусловленные глобальным изменением климата, ожидаются в перспективе до 2050 г. в засушливых странах [5]. В странах же с умеренно континентальным климатом, наоборот, возможен рост продуктивности сельскохозяйственных культур за счет повышения теплообеспеченности в вегетационный период.

Чтобы добиться стабильных и высоких урожаев озимых зерновых в эпоху меняющегося климата, требуется тщательный анализ всех экологических и агротехнических условий, необходимых для полноценного развития культур. Только такой всесторонний подход позволит создать действительно эффективное и надежное производство.



Современные исследования подтверждают, что меняющийся климат всё чаще становится серьёзным препятствием, которое мешает растениям реализовать свой природный потенциал.

Для успешного инвестирования в сельское хозяйство необходимо заранее просчитывать все риски. Именно поэтому так важно создавать точные модели урожайности, которые бы учитывали все природные и климатические особенности региона. Это позволит более уверенно принимать решения о вложении средств в аграрный сектор [6, 7].

В настоящее время исследованиям влияния климата на изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур посвящен ряд отечественных и зарубежных работ [8–11 и др.]. В работе [12] представлены обобщенные оценки влияния наблюдаемых в последние десятилетия изменений климата на продуктивность и устойчивость сельского хозяйства России. Количественная оценка откликов урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур, как в целом в Российской Федерации, так и в разрезе Федеральных округов и регионов, на возможные климатические изменения в долгосрочном периоде (до 2100 года) представлена в работе [13]. Рассчитанные статистические характеристики общей климатической и технологической изменчивости урожайности зерновых культур показывают, что в целом для территории Беларуси вклад климата в общую дисперсию урожайности составляет от 22 до 81 % [14].

Согласно системе Болина «климат – сельское хозяйство» различают два основных вектора в исследовании взаимосвязи этих двух составляющих: первый вектор направлен на оценку влияния на урожайность осредненных за какой-либо период климатических параметров; второй – на оценку влияния на урожайность повторяемости экстремальных климатических явлений, представляющих наибольшие риски для сельского хозяйства [15, 16]. Исследования приходят к противоречивым выводам, что связано с разнообразием факторов, таких как региональные особенности, типы культур, методы ведения сельского хозяйства. Эти разногласия подчеркивают сложность взаимодействия между климатическими изменениями и агрономическими показателями, требуя дальнейших исследований для более глубокого понимания этого важного вопроса.

С одной стороны, потепление климата влечет за собой такое положительное влияние, как продление вегетационного периода (позволяет растениям лучше развиваться и накапливать больше питательных веществ), улучшение фотосинтетических процессов, снижение риска зимних повреждений (уменьшает вероятность вымерзания озимых зерновых), разработка и адаптация новых сортов и др. [14].

С другой стороны, рост повторяемости теплых зим повышает опасность развития процессов вымокания, выпирания всходов, образования ледяной корки, а также способствует увеличению количества вредителей и зимующих сорняков, что негативно сказывается на показателях урожайности.

Особенно опасен эффект частых оттепелей, они приводят к таянию снега, а это делает растения беззащитными перед следующими заморозками.

В связи с важностью изучаемого вопроса целью исследования является разработка инновационной модели прогнозирования урожайности озимых зерновых культур на примере Брестского района.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- выявление климатических параметров, в наибольшей степени влияющих на урожайность озимых зерновых культур в Брестском районе;
- оценка вклада выделенных климатических параметров в изменчивость урожайности озимых зерновых в Брестском районе;
- разработка модели, описывающей зависимость урожайности озимых зерновых на основе трендовой составляющей и климатических параметров.

Материалы и методы исследования

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью озимых зерновых в Брестском районе за период с 1981 по 2020 гг. Использованы данные Министерства статистики и анализа Республики Беларусь об урожайности озимых зерновых культур и материалы Республиканского гидрометеоцентра о температурах воздуха, количестве осадков по метеостанции Брест. В работе реализованы методы статистической обработки данных наблюдений, в частности, методы корреляционного и регрессионного анализа, аналитических расчетов, анализ временных рядов [17, 18].

Исходной базой исследования послужили следующие данные за период 1981–2020 гг.:

- среднегодовая урожайность озимых зерновых $Y(t)$, ц/га, t – номер года;
- среднемесячные температуры воздуха $\bar{T}_i(t)$, °C, i – номер месяца;
- средняя максимальная температура воздуха $\bar{T}_{max\ i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- средняя минимальная температура воздуха $\bar{T}_{min\ i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- абсолютная максимальная температура воздуха $T_{max\ i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- абсолютная минимальная температура воздуха $T_{min\ i}(t)$, °C, i – номер месяца;
- число дней с морозом в соответствующем месяце, $m_i(t)$, i – номер месяца;
- месячная сумма осадков, $P_i(t)$, мм, i – номер месяца.

Результаты исследований и их обсуждение

Временные ряды урожайности как правило рассматривают как сумму двух компонентов: детерминированной временной функции (тренда) и случайных отклонений от неё [19]. Трендовая составляющая ($Y_{тр}(t)$) представляет собой отклик



изменения урожайности на улучшение технологий выращивания сельскохозяйственных культур при условии относительно стабильных во временном аспекте агроклиматических характеристик. Случайная компонента ($Y_{кл}(t)$) обусловлена преимущественно погодными условиями на всех этапах возделывания сельскохозяйственных культур. В этом случае обобщенную двухкомпонентную модель урожайности можно представить в виде:

$$Y(t) = Y_{тр}(t) + Y_{кл}(t). \quad (1)$$

Выполненные в работе [20] исследования по изучению закономерностей формирования урожайности основных сельскохозяйственных культур за период 2007–2019 гг. по совокупности хозяйств юго-запада Беларуси показали, что урожайность основных культур описывается полиномом второго

порядка. Однако увеличение рядов наблюдений за исследуемой характеристикой требует пересмотра полученных тенденций.

Поэтому на первом этапе выполнен анализ временного ряда урожайности озимых зерновых Брестского района за период 1981–2020 гг., демонстрирующий значительные колебания данного показателя по годам (рис. 1). В качестве предиктора в модель введен номер года по тренду (n). Номер года по тренду за 1981 г. принят за единицу. Выявлено, что наиболее точно динамику урожайности за исследуемый период описывает полином 3-й степени. Величина R^2 показывает, что вклад полиномиального тренда в общую изменчивость урожайности озимых зерновых значительный и составляет 0,76.

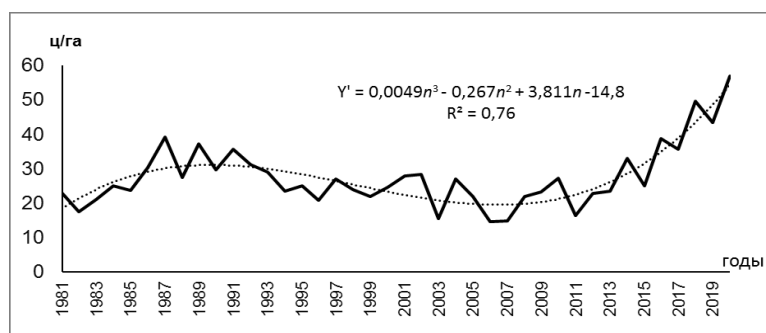


Рис. 1 – Урожайность озимых зерновых в Брестском районе за период 1981–2020 гг

Fig. 1 – Winter grain yield in the Brest region for the period 1981–2020

На втором этапе из исходного временного ряда урожайности удалена трендовая компонента, что позволило выделить остаточные значения (рис. 2).

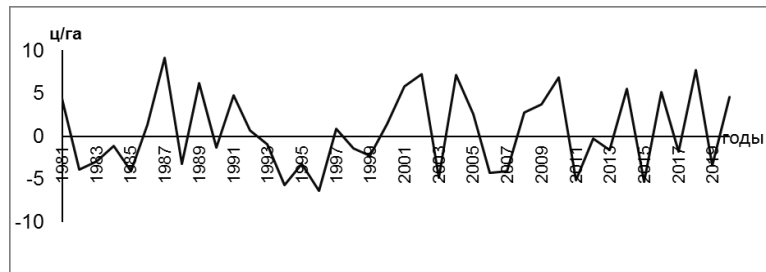


Рис. 2 – Динамика отклонения урожайности озимых зерновых от трендовой составляющей

Fig. 2 – Dynamics of deviation of winter grain yield from the trend component

Наличие множества факторов, влияющих на формирование озимых зерновых культур, делает необходимым отбор тех из них, влияние которых на урожайность наиболее значимо. Поэтому на третьем этапе выполнен корреляционный анализ климатических факторов и ряда отклонений урожайности озимых зерновых от трендовой составляющей. В результате анализа получено, что значимое влияние на урожайность озимых культур Брестского района в t -м году оказывают следующие показатели: среднемесячная температура апреля $\bar{T}_4(t)$, средняя минимальная температура января $\bar{T}_{мин_1}(t)$, абсолютная максимальная температура февраля $T_{max_2}(t)$, абсолютная минимальная температура ноября в предшествующем календарном году $T_{мин_11}(t-1)$, средняя температура декабря в предшествующем календарном году $\bar{T}_{12}(t-1)$, средняя минимальная

температура декабря в предшествующем календарном году $\bar{T}_{мин_12}(t-1)$, число дней с морозом в сентябре предшествующего года $m_9(t-1)$, суммарное количество осадков в ноябре, декабре и январе $P_{11}(t-1) + P_{12}(t-1) + P_1(t)$.

Обобщив полученные связи урожайности с климатическими факторами и временной составляющей, получили итоговую двухкомпонентную модель урожайности озимых зерновых Y в t -м году:

$$Y(t) = (0,0049n^3 - 0,267n^2 + 3,811n - 14,8) + (1,052\bar{T}_4(t) - 0,355\bar{T}_{мин_1}(t) + 0,299T_{max_2}(t) + 0,718T_{мин_11}(t-1) + (2) + 6,198\bar{T}_{12}(t-1) - 5,463\bar{T}_{мин_12}(t-1) - 0,207m_9(t-1) - 0,590T_{max_9}(t) - 0,022(P_{11}(t-1) + P_{12}(t-1) + P_1(t)) - 0,240)$$



Полученные смоделированные значения отклонений от тренда представлены на рисунке 3. Итоговая смоделированная урожайность зерно-

вых по двухкомпонентной модели (2) представлена на рисунке 4.

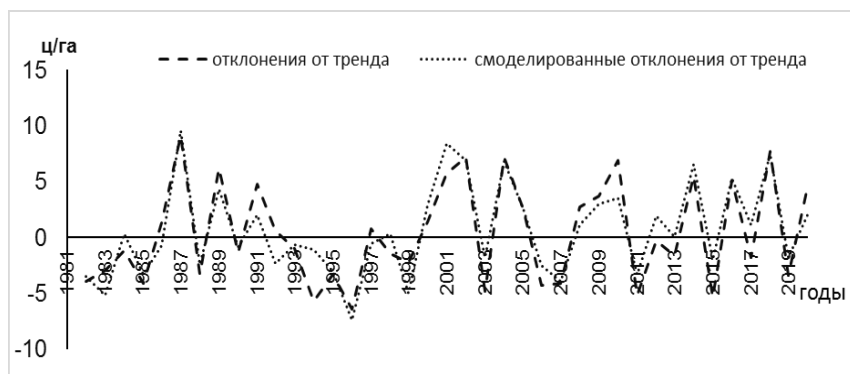


Рис. 3 – Моделирование отклонений ряда урожайности от тренда.
Fig. 3 – Modeling deviations of yield series from trend.

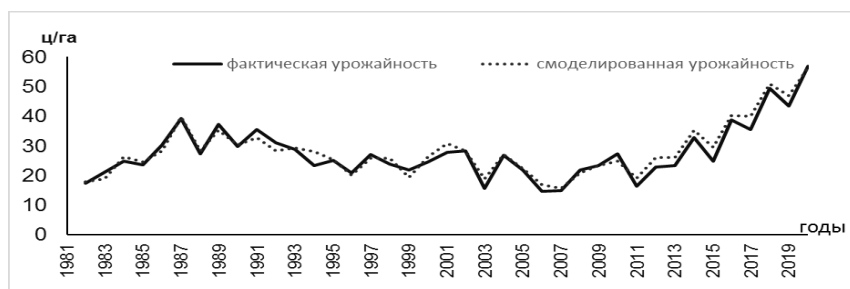


Рис. 4 – Фактическая и смоделированная урожайность озимых зерновых в Брестском районе за период 1981–2020 гг.
Fig. 4 – Actual and modeled yields of winter grains in the Brest region for the period 1981–2020.

В Брестском районе средняя абсолютная ошибка модели составила 1,8 ц/га, а средняя абсолютная процентная ошибка составила 7,2 %. Таким образом, исследование влияния множества факторов на урожайность показало высокую эффективность применения двухкомпонентной модели и методов корреляционного и регрессионного анализа.

Заключение

В процессе исследования была обнаружена корреляция между метеорологическими параметрами и урожайностью озимых зерновых культур в Брестском районе на основе данных за период с 1981 по 2020 годы. Была создана двухкомпонентная модель, способная с высокой точностью прогнозировать урожайность озимых зерновых в Брестском районе. Исходя из полученных данных, выявили, что средняя абсолютная ошибка модели составила 1,8 ц/га в абсолютных и 7,2 % в относительных показателях.

Результаты могут быть применены сельскохозяйственными управлениями для прогнозирования общего сбора озимых зерновых, разработки аграрной политики, планирования бюджетных расходов на поддержку сельского хозяйства, оптимизации структуры посевных площадей и контроля продовольственной безопасности.

Список источников

1. Белта [Электронный ресурс]: Продовольственная безопасность Беларуси- 2022. – URL: <https://www.belta.by/infographica/view/prodovolstvennaja-bezopasnost-belarusi-26589>.
2. Волчек, А.А. Влияние изменения температур холодного периода на урожайность озимых зерновых в Беларуси / А.А. Волчек, Ю.П. Городнюк

// Международной научно-практической конференции Хазарский университет, г. Баку, 5 – 6 декабря 2022 года. – Баку, Азербайджан, 2023. – С. 209–212.

3. Городнюк, Ю.П. Различия формирования урожайности озимых зерновых культур Брестской области / Ю.П. Городнюк // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2023» / редкол. : А. Г. Баханович (пред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2024. – С. 75.

4. Городнюк, Ю.П. Особенности изменения зимнего температурного режима Белорусского Полесья / Ю.П. Городнюк // Инженерно-экологические аспекты и перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения : сборник научных статей Международной научно-практической конференции молодых учёных, приуроченной ко Всемирному дню Водных ресурсов, Брест, 28 марта 2024 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»; редкол.: А.А. Волчек [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 112–116.

5. Ксенофонтов, М.Ю. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе / М.Ю. Ксенофонтов, Д.А. Ползиков // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 3 (180). – С. 82–92.

6. Соболев, О.С. Моделирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в условиях долгосрочных климатических изменений / О.С. Соболев // Экономика сельского хозяйства России. – 2020. – № 6. – С. 99–104.

7. Бисочков, Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей / Р.М. Бисочков // Вестник Российского университе-



та дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2022. – Т. 17. – №. 2. – С. 146–157.

8. Рысин, И.И. Моделирование влияния климатических факторов на урожайность зерновых культур (на материалах Удмуртии) / И.И. Рысин, П.Б. Акмаров, О. П. Князева // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 465–472.

9. Юсупов, М.Ч. Влияние изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур / М.Ч. Юсупов, Д.Т. Юсупов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2020. – № 4(43). – С. 110–114.

10. Сиптиц, С. О. Методы и модели оценки влияния климата на урожайность сельскохозяйственных культур - зарубежный опыт / С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2020. – № 9(66). – С. 14–19.

11. Червяков, А.В. К вопросу влияния климата на урожайность сельскохозяйственных культур как фактора устойчивого производства / А.В. Червяков // Еромен. Global. – 2019. – № 1. – С. 104–109.

12. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период с 1989 по 2015 г / В.И. Мельник, И.С. Данилович, И.Ю. Кулешова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 88–101.

13. Сиптиц, С.О. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России / С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – №. 2 (185). – С. 75–86.

14. Клочков, А.В. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур /

А.В. Клочков, О.Б. Соломко, О.С. Клочкова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №. 2. – С. 101–105.

15. Сиротенко, О.Д. Глава 5. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства / О. Д. Сиротенко, В.Н. Павлова // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем/под ред. С.М. Семенова. – М.: Росгидромет. – 2012. – С. 165–189.

16. Болин Б., Деес Б.Р., Ягер Д., Уоррик Р. Парниковый эффект. Изменение климата и экосистемы // Л., Гидрометеиздат, 1989. – 357 с.

17. Сычев, В. Г. Информационные технологии при обработке экспериментальных данных в растениеводстве для прогнозов / В. Г. Сычев, Л. Б. Винничек, О. Н. Суханова // Московский экономический журнал. – 2019. – № 12. – С. 477–484.

18. Деревенец, Д.К. Экономико-математическое моделирование урожайности сельскохозяйственных культур / Д.К. Деревенец, Г.Н. Барсукова // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 5(45).

19. Лебедева, В.М. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. II: Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Кн. 2: Оперативное агрометеорологическое прогнозирование / В.М. Лебедева, А.И. Страшная. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 216 с.

20. Конончук, В.В. Моделирование урожайности зерновых культур в условиях проявления агроэкологических рисков / В.В. Конончук // Вестник Брестского университета. – 2020. – №. 1. – С. 90–95.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Belta [Elektronnyj resurs]: Prodovol'stvennaya bezopasnost' Belarusi- 2022. – URL: <https://www.belta.by/infographica/view/prodovol'stvennaya-bezopasnost-belarusi-26589>.
2. Volchek, A.A. Vliyanie izmeneniya temperatur holodnogo perioda na urozhajnost' ozimyh zernovyh v Belarusi / A.A. Volchek, YU.P. Gorodnyuk // Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Hazarskij universitet, g. Baku, 5 – 6 dekabrya 2022 goda. – Baku, Azerbajdzhan, 2023. – S. 209–212.
3. Gorodnyuk, YU.P. Razlichie formirovaniya urozhajnosti ozimyh zernovyh kul'tur Brestskoj oblasti / YU.P. Gorodnyuk // Sbornik nauchnyh rabot studentov Respubliki Belarus' «NIRS 2023» / redkol. : A. G. Bahanovich (pred.) [i dr.]. – Minsk : Izd. centr BGU, 2024. – S. 75.
4. Gorodnyuk, YU.P. Osobennosti izmeneniya zimnego temperaturnogo rezhima Belorusskogo Poles'ya / YU.P. Gorodnyuk // Inzhenerno-ekologicheskie aspekty i perspektivy razvitiya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya : sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchyonih, priurochennoj ko Vsemirnomu dnyu Vodnyh resursov, Brest, 28 marta 2024 g. / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Uchrezhdenie obrazovaniya «Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» ; redkol.: A.A. Volchek [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2024. – S. 112–116.
5. Ksenofontov, M.YU. K voprosu o vliyani klimaticheskikh izmenenij na razvitie sel'skogo hozyajstva Rossii v dolgosrochnoj perspektive / M.YU. Ksenofontov, D.A. Polzikov // Problemy prognozirovaniya. – 2020. – №. 3 (180). – S. 82–92.
6. Sobolev, O.S. Modelirovanie urozhajnosti zernovyh i zernobobovyh kul'tur v usloviyah dolgosrochnykh klimaticheskikh izmenenij / O.S. Sobolev // Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii. – 2020. – № 6. – S. 99–104.
7. Bischokov, R.M. Analiz, modelirovanie i prognoz urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur sredstvami iskusstvennykh nejronnykh setej / R.M. Bischokov // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. – 2022. – Т. 17. – №. 2. – S. 146–157.
8. Rysin, I.I. Modelirovanie vliyaniya klimaticheskikh faktorov na urozhajnost' zernovyh kul'tur (na materialah Udmurtii) / I.I. Rysin, P.B. Akmarov, O. P. Knyazeva // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya



Biologiya. Nauki o Zemle. – 2020. – T. 30, № 4. – S. 465–472.

9. YUusupov, M.CH. Vliyanie izmeneniya klimata na urozhnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur / M.CH. YUusupov, D.T. YUusupov // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta Tadzhikistana. – 2020. – № 4(43). – S. 110–114.

10. Siptic, S. O. Metody i modeli ocenki vliyaniya klimata na urozhnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur - zarubezhnyy opyt / S.O. Siptic, I.A. Romanenko, N.E. Evdokimova // Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve. – 2020. – № 9(66). – S. 14–19.

11. CHervyakov, A.V. K voprosu vliyaniya klimata na urozhnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur kak faktora ustojchivogo proizvodstva / A.V. CHervyakov // Epomen. Global. – 2019. – № 1. – S. 104–109.

12. Ocenka agroklimaticheskikh resursov territorii Belarusi za period s 1989 po 2015 g / V.I. Mel'nik, I.S. Danilovich, I.YU. Kuleshova [i dr.] // Prirodnye resursy. – 2018. – № 2. – S. 88–101.

13. Siptic, S.O. Model'nye ocenki vliyaniya klimata na urozhnost' zernovykh i zernobobovykh kul'tur v regionah Rossii / S.O. Siptic, I.A. Romanenko, N.E. Evdokimova // Problemy prognozirovaniya. – 2021. – № 2 (185). – S. 75–86.

14. Klochkov, A.V. Vliyanie pogodnykh uslovij na urozhnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur / A.V. Klochkov, O.B. Solomko, O.S. Klochkova // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2019. – № 2. – S. 101–105.

15. Sirotenko, O.D. Glava 5. Metody ocenki vliyaniya izmenenij klimata na produktivnost' sel'skogo hozyajstva / O. D. Sirotenko, V.N. Pavlova // Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem/pod red. S.M. Semenova. – M.: Rosgidromet. – 2012. – S. 165–189.

16. Bolin B., Dees B.R., Yager D., Uorrik R. Parnikovyj effekt. Izmenenie klimata i ekosistemy // L., Gidrometeoizdat, 1989. – 357 s.

17. Sychev, V. G. Informacionnye tekhnologii pri obrabotke eksperimental'nykh dannykh v rastenievodstve dlya prognozov / V. G. Sychev, L. B. Vinnichuk, O. N. Suhanova // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. – 2019. – № 12. – S. 477–484.

18. Derevenec, D.K. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie urozhnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur / D.K. Derevenec, G.N. Barsukova // Journal of Agriculture and Environment. – 2024. – № 5(45).

19. Lebedeva, V.M. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. T. II: Metody raschetov i prognozov v agrometeorologii. Kn. 2: Operativnoe agrometeorologicheskoe prognozirovanie / V.M. Lebedeva, A.I. Strashnaya. – Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD», 2012. – 216 s.

20. Kononchuk, V.V. Modelirovanie urozhnosti zernovykh kul'tur v usloviyakh proyavleniya agroekologicheskikh riskov / V.V. Kononchuk // Vestnik Brestskogo universiteta. – 2020. – № 1. – S. 90–95.

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

Городнюк Юлия Петровна, аспирант кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, juliagirodniuk99@gmail.com

Волчек Александр Александрович, д-р геогр. наук, профессор, профессор кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, volchak@tut.by

Мажайский Юрий Анатольевич, д-р с.-х. наук, профессор кафедры экономики и менеджмента, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», director@mntc.pro

Сидак Светлана Васильевна, ст. препод. кафедры математики и информатики, Брестский государственный технический университет, harchik-sveta@mail.ru

Розумец Иван Николаевич, аспирант кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет, ivan.rozumets@bk.ru

Author Information

Haradniuk Julia P., Graduate Student of the Department of Environmental Management, Brest State Technical University, juliagirodniuk99@gmail.com

Volchak Aliaksandr A., Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Environmental Management, Brest State Technical University, volchak@tut.by

Mazhayskiy Yuri A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Economics and Management, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia, director@mntc.pro

Sidak Svetlana V., Senior Lecturer of the Department of Mathematics and Informatics, Brest State Technical University, harchik-sveta@mail.ru

Rozumets Ivan N., Graduate Student of the Department of Environmental Management, Brest State Technical University, ivan.rozumets@bk.ru

Статья поступила в редакцию 04.02.2025; одобрена после рецензирования 23.04.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 04.02.2025; approved after reviewing 23.04.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 35-42
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp. 35-42

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК: 634.14:57.087.1:581.192.7
DOI: 10.36508/RSATU.2025.94.57.006

**СПОСОБНОСТЬ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ РИБАВ-ЭКСТРА ПОВЫШАТЬ
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОРМ АЙВЫ**

Илона Валериевна Зацепина

Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, Селекционно-генетический центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

ilona.valerevna@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель работы – выявить влияние регулятора роста растений на укоренение зеленых черенков и выход посадочного материала форм айвы в условиях искусственного тумана.

Методология. Объектами для изучения брали формы айвы в количестве 9 штук – ВА 29 (к), Северная, Прованская, Пензенская, № 25, № 40, № 21, № 31, № 13. Черенки нарезали длиной 12-15 см, у которых для снижения транспирации срезали часть листовой пластины. Зеленые черенки поместили в сосуд с препаратом Рибав-Экстра (1,0 мг/10 л) на 18 часов. В качестве контроля использовали воду.

Результаты. Согласно полученным данным наилучшими результатами укоренения при обработке срезов Рибав-Экстра (от 80,0 до 87,6 %) обладали зеленые черенки айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная. Без использования регулятора роста растений наибольшую укореняемость (от 71,1 до 78,3 %) наблюдали у зеленых черенков айвы Северная, ВА 29 (к), Прованская, Пензенская. В группу форм, обладающих наибольшей высотой приростов (от 17,0 до 17,7 см) при использовании препарата Рибав-Экстра обладали формы айвы Пензенская, Прованская ВА 29 (к), Северная. При обработке регулятором роста растений больший результат длины корней (от 20,7 до 23,8 см) составляли формы айвы Пензенская, Прованская ВА 29 (к), Северная. Наилучшие результаты количества корней при употреблении регулятора роста растений Рибав-Экстра давали формы айвы Пензенская – 16,0 шт., Прованская – 16,3 шт., ВА 29 (к) – 16,7 шт., Северная – 16,9 шт. Высокий показатель длины приростов без обработки препаратом (от 15,0 до 15,8 см) наблюдали у форм айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная. Лучшую длину корней без употребления регулятора роста растений имели формы айвы Северная, ВА 29 (к), Прованская, Пензенская, показатель варьировал от 18,1 до 18,8 см. Более высокое количество корней без препарата продемонстрировали формы айвы Пензенская – 15,0 шт., Прованская – 15,4 шт., ВА 29 (к) – 15,5 шт., Северная – 15,8 шт.

Заключение. Таким образом, использование препарата Рибав-Экстра для укоренения форм айвы представляет большой интерес.

Ключевые слова: формы, зеленые черенки, регулятор роста растений, айва

Для цитирования: Зацепина И. В. Способность регулятора роста растений Рибав-Экстра повышать биометрические показатели форм айвы // Вестник Рязанского государственного агротехнического университета имени П. А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 35-42 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.94.57.006](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.94.57.006)

Original article

**THE ABILITY OF THE PLANT GROWTH REGULATOR RIBAV-EXTRA TO INCREASE THE BIOMETRIC
PARAMETERS OF QUINCE FORMS**

Ilona V. Zatsepina

I.V. Michurin Federal Scientific Center, I.V. Michurin Breeding and Genetic Center, Michurinsk, Russia

ilona.valerevna@mail.ru

**Abstract.**

Problem and purpose. The purpose of our work is to identify the effect of the plant growth regulator on the rooting of green cuttings and the yield of planting material of quince forms in conditions of artificial fog.

Methodology. We took 9 quince shapes as objects for study – VA 29 (k), Severnaya, Provencal, Penza, № 25, № 40, № 21, № 31, № 13. The cuttings were cut 12-15 cm long, in which a part of the leaf plate was cut off to reduce transpiration. We placed the green cuttings in a vessel with rRibav-Extra (1.0 mg/10 l) for 18 hours. Water was used as a control.

Results. According to the data obtained, green quince cuttings from Penzenskaya, Provanskaya, VA 29 (k), and Severnaya had the best rooting results when processing Ribav-Extra slices (from 80,0 to 87,6%). Without the use of a plant growth regulator, the highest rooting rate (from 71,1 to 78,3%) was observed in green quince cuttings from Severnaya, VA 29 (k), Provanskaya, and Penzenskaya. The quince forms Penzenskaya, Provanskaya VA 29 (k), and Severnaya belonged to the group of forms with the highest growth height (from 17,0 to 17,7 cm) when using Ribav-Extra. When treated with a plant growth regulator, the greater result of root length (from 20,7 to 23,8 cm) were the forms of quince Penza, Provence VA 29 (k), Northern. The quince forms Penza – 16,0 pcs., Provence – 16,3 pcs., VA 29 (k) – 16,7 pcs., Northern – 16,9 pcs. had the best results in the number of roots when using the plant growth regulator Ribav-Extra. A high rate of growth length without treatment with the drug (from 15,0 to 15,8 cm) was observed in quince forms Penzenskaya, Provanskaya, VA 29 (k), Severnaya. The best root length without the use of a plant growth regulator was found in the forms of Northern quince, VA 29 (k), Provence, Penza, and the index ranged from 18,1 to 18,8 cm. The higher number of roots without the drug was demonstrated by the forms of quince Penza – 15,0 pcs., Provence – 15,4 pcs., VA 29 (k) – 15,5 pcs., Northern – 15,8 pcs.

Conclusion. Thus, the use of Ribav-Extra for rooting quince forms is of great interest.

Key words: shapes, green cuttings, plant growth stimulator, quince

For citation: Zatsepina I. V. The ability of the plant growth regulator Ribav-Extra to increase the biometric parameters of quince forms // Herald of the Ryazan State Agrotechnical University named after P. A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2. P. 35-42 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.94.57.006>

Введение

Садоводство является одной из главных отраслей сельского хозяйства, так как благодаря ему можно получить биологически ценную и высококачественную продукцию. В садоводстве выращивают плодово-ягодные и одревесневшие культуры, декоративные, цветочные – во всех странах мира. Имеют большое значение, как сырье для переработки, плоды, ягоды, орехи. Благодаря садоводству можно получить высококачественные продукты, которые будут полезны для человеческого организма. Для того чтобы вырастить качественные посадочные материалы, необходимо иметь большие питомники, но не везде существуют хорошие питомники, так как погода в Российской Федерации для выращивания сельскохозяйственных культур различная. Не везде в России погода бывает теплой, благосклонной к выращиванию посадочного материала. На сегодняшний день питомники используются в различных регионах, они могут осуществлять посадку и продажу различных укорененных черенков (зеленых, одревесневших), выращивать саженцы, привитые деревья [1-3].

Чтобы вырастить хороший посадочный материал плодовых, ягодных, орехоплодных и декоративных культур, необходимо иметь питомники, так как в них выращивают новые сорта, обладающие хозяйственно-ценными признаками [4].

Для того чтобы черенки, зеленые или одревесневшие, хорошо укоренялись, необходимо, чтобы была нужная температура, хороший земельный участок, время черенкования (май-июнь), так как в это время проходит вегетация и наращивается много побегов. Черенки обычно нарезают одинаковой длины и толщины, чтобы в дальнейшем

они укоренялись одинаково. Но бывает так, что даже при соблюдении всех правил при посадке черенков в теплицу растения могут укореняться неодинаково, так как не на все растения при опрыскивании может попадать вода или питательные вещества [5].

В растениеводстве очень широко применяют вегетативное размножение растений для того, чтобы сохранить сортовые свойства; это также оказывает стрессовую нагрузку на растения. С помощью вегетативного размножения можно получить много укоренившихся черенков, из которых в дальнейшем получают клоновые подвои. Растения, которые обладают благополучными свойствами, могут передавать свои полезные генетические данные своему потомству [6].

Клоновые подвои выращивают из зеленых, одревесневших черенков, так как они вырастают небольшого роста, на них можно прививать любые семечковые, косточковые культуры. В настоящее время интерес у садоводов возрос к плодовым культурам на слаборослых подвоях – карликовых и полукарликовых. Не удивительно, что такие плодовые культуры приобретают все большую и большую популярность. Маленькие аккуратные деревца приносят значительные урожаи крупных сладких плодов, а также они могут раньше вступать в плодоношение [7].

Чтобы вырастить высокопродуктивные саженцы плодовых, ягодных, косточковых культур, необходимо разработать технологию их размножения, применять регуляторы роста растений. Регуляторы роста растений оказывают значительное воздействие на укоренение плодово-ягодных, орехоплодных и декоративных растений [8].



Чтобы укоренить зеленые и одревесневшие черенки, необходимо срезы черенков плодовых культур обрабатывать регуляторами роста растений, которые положительно влияют на процесс регенерации придаточных корней у зеленых и одревесневших черенков. Важно построить туманообразующую установку, так как черенки очень хорошо будут укореняться, они постоянно будут опрыскиваться теплой водой [9].

При выращивании плодово-ягодных и цветочных культур в одинаковых условиях всегда можно наблюдать более или менее значительное расхождение показателей, характеризующих их рост, развитие и проявление различных признаков [10].

На сегодняшний день, чтобы получать здоровый посадочный материал, высокие урожаи со здоровыми плодами и ягодами, которые не будут вредить здоровью человека и окружающей среды, необходимо использовать хорошие регуляторы роста растений [11].

Различным негативным факторам среды, высоким и низким температурам, недостаткам влаги, токсичным действиям пестицидов, поражениям болезнями и вредителями оказывают сопротивление регуляторы роста растений [12].

Регуляторы роста растений бывают разнообразными: Эпин-Экстра, янтарная кислота, Рибав-Экстра, нафтилуксусная кислота, Циркон, индолилуксусная кислота, индолилмасляная кислота. Все они выполняют в растениях разнообразные функции: наращивают корневую систему у плодовых культур, которые могут плодоносить; не осыпаются цветки, завязи, плоды; растения становятся пышными, ветвистыми, здоровыми и крепкими. Но регуляторы роста растений не являются удобрением и поэтому для растений необходимо усиленное питание [13].

В настоящее время регуляторы роста растений играют важную роль в растениеводстве, принимая участие в регулировании процессов развития растений. Регуляторы роста растений ускоряют рост и развитие хорошим саженцам для того, чтобы их в дальнейшем можно было реализовать для различных ферм, плодово-ягодных садов, питомников. Имеется много химических препаратов, но в настоящее время большого внимания заслуживают регуляторы роста растений нового поколения, так как они намного лучше старых препаратов могут укоренять растения не только легко укореняющиеся, но и плохо укореняющиеся (груша, ирга, боярышник, крыжовник). Для огородников, садоводов-любителей, для промышленных садов такие регуляторы роста растений приносят большую пользу. Они могут вырастить здоровый посадочный материал (подвои, саженцы) для того, чтобы потом его можно было реализовать или окулировывать, чтобы вырастить саженцы для использования их в селекции [14, 15].

Рибав-Экстра – это препарат, который способен хорошо укоренять сельскохозяйственные растения. Благодаря такому препарату укореняются зеленые, одревесневшие черенки, большинство всех видов культур: декоративные, цветочные,

плодово-ягодные, хвойные и трудноукореняемые. Рибав-Экстра повышает прорастание и всхожесть семян, он защищает растения от болезней и вредителей, усиливает рост стеблей и листьев в период вегетации.

Данный препарат Рибав-Экстра был применен в наших исследованиях.

Айва – это плодовая скороплодная культура; большинство сортов вступают в пору плодоношения уже на 3-4-й год, созревают плоды во 2-3-й декаде сентября. Урожайность плодов составляет от 20 до 70 кг, мякоть у айвы бывает нежной, пригодной для потребления в свежем виде, и терпкой. Айва очень хорошо укореняется без специальных препаратов и является очень хорошим подвоем для груши.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась с 2012 по 2024 год в ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина», в подразделении «Селекционно-генетический центр имени И.В. Мичурина».

Объектами для изучения брали формы айвы в количестве 9 штук – ВА 29 (к), Северная, Прованская, Пензенская, № 25, № 40, № 21, № 31, № 13.

Черенки нарезами длиной 12-15 см, у них для снижения транспирации срезали часть листовой пластины.

Зеленые черенки помещали в сосуд с препаратом Рибав-Экстра (1,0 мг/10 л) на 18 часов. В качестве контроля использовали воду.

После этого черенки высаживали в теплицу с пленочным укрытием и туманообразующей установкой, оснащенной автополивом; в нее входили насос, трубы, распылители (форсунки) и очищающие фильтры; температура воздуха достигала до +28° С. В качестве субстрата использовали торф с песком 1:1. Черенки сажали в середине июня (15 июня) под углом 45° С. Схема посадки – 5×5 см. Опыты закладывались в трехкратной повторности по 120 черенков в каждом повторении. Для исследований укорененные черенки были выкопаны в конце августа (25 августа).

Изучение проводили по общепринятой методике, разработанной Н. Н. Коваленко (2011) [16]. Определение укореняемости, высоты укорененного подвоя, количества корней, длины корневой системы проводили по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» под общ. ред. академика РАСХН Е. Н. Седова, д-ра с.-х. наук Т. П. Огольцовой [17]. Статистическую обработку осуществляли по общепринятой методике полевого опыта Б. А. Доспехова (1985) [18].

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что наилучшими результатами укоренения при обработке срезов Рибав-Экстра (от 80,0 до 87,6 %) характеризовались формы айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная. Хорошо укоренились формы № 25, № 40, данный показатель составлял 75,4 % и 73,2 % соответственно. У форм айвы № 13, № 21, № 31 укоренение составляло от 61,4 до 68,5 % (рис. 1).

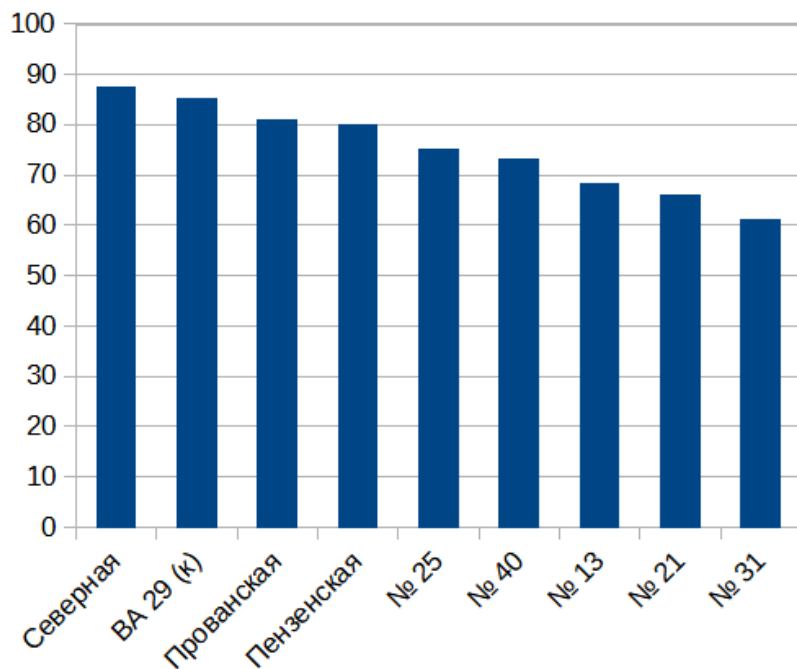


Рис. 1 – Показатели укореняемости зеленых черенков форм айвы с применением регулятора роста растений Рибав-Экстра (1,0 мг/л на 10 л, на 18 часов) (среднее за 2021....2024 гг.)

Fig. 1 – Indicators of rootability of green quince cuttings using the plant growth regulator Ribav-Extra (1.0 mg/l per 10 liters, for 18 hours) (average for 2021....2024)

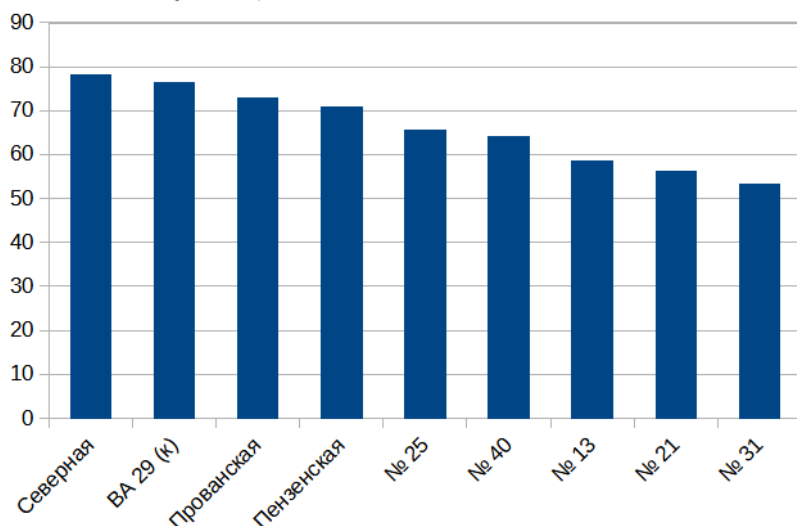


Рис. 2 – Показатели укореняемости зеленых черенков айвы без использования регулятора роста растений (среднее за 2021....2024 гг.)

Fig. 2 - Rooting rates of green quince cuttings without the use of a plant growth regulator (average for 2021-.2024)

Без применения данного препарата более высокий показатель укоренения продемонстрировали зеленые черенки айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная; результат был отмечен от 71,1 до 78,3 %. Хорошую укореняемость имели формы айвы № 25 – 65,8 %, № 40 – 64,3 %. От 53,3 до 58,7 % укоренилась айва № 13, № 21, № 31 (рис. 2).

После того как зеленые черенки айвы укоренились в теплице, были проведены учеты укоренившихся подвоев айвы.

Исследования показали, что наиболее высокими подвоями при обработке препаратом Рибав-Экстра (от 17,0 до 17,7 см) характеризовались формы айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная. Хорошей высотой обладали формы айвы № 25 – 15,8 см, № 40 – 15,1 см. Среднюю длину растений (от 13,0 до 13,6 см) имели формы айвы № 13, № 21, № 31 (табл.).

При использования препарата Рибав-Экстра лучшими данными длины корней (от 20,7 до 23,8 см) характеризовались формы айвы Пензен-

ская, Прованская, ВА 29 (к), Северная. Хорошую длину корней 17,0 см и 17,6 см продемонстрировали формы айвы № 40, № 25. От 16,1 до 16,8 см длина корней была отмечена у форм айвы № 13, № 21, № 31 (табл.).

Наилучшие результаты количества корней при употреблении регулятора роста растений Рибав-Экстра обладали формы айвы Пензенская – 16,0 шт., Прованская – 16,3 шт., ВА 29 (к) – 16,7 шт., Северная – 16,9 шт. Хорошим количеством корневой системы характеризовались формы айвы № 40 – 14,1 шт., № 25 – 14,6 шт. Среднее количество корней от 13,0 до 13,4 шт. наблюдали у форм айвы № 13, № 21, № 31 (табл.).

Высокий показатель длины приростов без обработки регулятором роста растений наблюдали у форм айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная, данный показатель составлял от 15,0 до 15,8 см. Хорошей высотой обладали формы айвы № 25 – 13,7 см, № 40 – 13,1. От 11,1 до 11,8 см прирост продемонстрировали формы айвы № 13, № 21, № 31 (табл.).



Таблица – Влияние регулятора роста растений Рибав-Экстра на биометрические показатели форм айвы (среднее за 2021....2024 гг.)

Форма	Высота подвоя, см	Длина корней, см	Количество корней, шт.
	Рибав-Экстра (1,0 мг/10л, на 18 часов)		
Северная	17,7	23,8	16,9
ВА 29 (к)	17,5	22,1	16,7
Прованская	17,2	21,9	16,3
Пензенская	17,0	20,7	16,0
№ 25	15,8	17,6	14,6
№ 40	15,1	17,0	14,1
№ 13	13,6	16,8	13,4
№ 21	13,3	16,3	13,2
№ 31	13,0	16,1	13,0
НСР ₀₅	1,8	1,5	1,4
	Контроль		
Северная	15,8	18,8	15,7
ВА 29 (к)	15,5	18,6	15,5
Прованская	15,4	18,4	15,3
Пензенская	15,0	18,1	15,0
№ 25	13,7	15,8	12,8
№ 40	13,1	15,2	12,2
№ 13	11,8	13,4	10,5
№ 21	11,4	13,2	10,4
№ 31	11,1	13,0	10,0
НСР ₀₅	1,3	1,2	1,2

Без использования препарата лучшую длину корней (от 18,1 до 18,8 см) имели формы айвы Северная, ВА 29 (к), Прованская, Пензенская. У форм айвы № 25 и № 40 длина корней составляла 15,2 см и 15,8 см. Низкий показатель длины корней имели формы айвы № 31 – 13,0 см, № 21 – 13,2 см, № 13 – 13,4 см (табл.).

Наилучшее количество корней без использо-

вания регулятора роста растений продемонстрировали формы айвы Пензенская – 15,0 шт., Прованская – 15,4 шт., ВА 29 (к) – 15,5 шт., Северная – 15,8 шт. Хорошее количество корней имели подвои айвы № 25 – 12,8 шт., № 40 – 12,2 шт. У айвы № 13, № 21, № 31 количество корней составляло от 10,0 до 10,5 шт. (таблица).



Рис. 3. – Укорененные черенки формы айвы Северная с использованием регулятора роста растений Рибав-Экстра (1,0 мг/10 л)
Fig. 3. – Rooted cuttings of Northern quince using plant growth regulator Ribav-Extra (1.0 mg/10 L)



Рис. 4.— Укорененные черенки формы айвы Северная без применения препарата Fig. 4. Rooted cuttings of the Northern quince form without the use of the drug

Заключение

Согласно полученным данным, наилучшими результатами укоренения при обработке срезов Рибав-Экстра (от 80,0 до 87,6 %) обладали зеленые черенки айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная.

Без использования регулятора роста растений наибольшую укореняемость (от 71,1 до 78,3 %) наблюдали у зеленых черенков айвы Северная, ВА 29 (к), Прованская, Пензенская.

В группу форм, обладающих наибольшей высотой приростов (от 17,0 до 17,7 см) при использовании препарата Рибав-Экстра, обладали формы айвы Пензенская, Прованская ВА 29 (к), Северная.

При обработке регулятором роста растений больший результат длины корней (от 20,7 до 23,8 см) составляли формы айвы Пензенская, Прованская ВА 29 (к), Северная.

Наилучшие результаты количества корней при употреблении регулятора роста растений Рибав-Экстра обладали формы айвы Пензенская – 16,0 шт., Прованская – 16,3 шт., ВА 29 (к) – 16,7 шт., Северная – 16,9 шт.

Высокий показатель длины приростов без обработки препаратом (от 15,0 до 15,8 см) наблюдали у форм айвы Пензенская, Прованская, ВА 29 (к), Северная.

Лучшую длину корней без употребления регулятора роста растений имели формы айвы Северная, ВА 29 (к), Прованская, Пензенская; показатель варьировал от 18,1 до 18,8 см.

Более высокое количество корней без препарата продемонстрировали формы айвы Пензенская – 15,0 шт., Прованская – 15,4 шт., ВА 29 (к) – 15,5 шт., Северная – 15,8 шт.

Список источников

1. Никитина А. В., Ленточкин А. М., Федоров А. В. Влияние сроков размножения зелеными черенками на укореняемость клонового подвоя яблони 54-118 //Известия ТСХА, 2022. - №2. – С. 45-53. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-2-45-53>

2. Корнеева С.А., Седов Е. Н., Янчук Т. В. Перспективность закладки суперинтенсивных безопорных садов колонновидных сортов яблони // Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2021. - № 5. С.45–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/5/45-48>

3. Никитина А.В. Садоводство в Удмуртской Республике / А.В. Никитина, А.М. Ленточкин // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2022. - № 4(68). – С. 20–30. (In https://doi.org/10.48012/1817-5457_2021_4_20

4. Ленточкин А.М., Бабайцева Т. А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2021. - № 22,(6). – С. 826–834. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>

5. Раджабов А.К., Попов А. Е., Воскобойников, Фесютин И. А. К вопросу о подборе и размещении сортов яблони для выращивания в товарных садах в средней зоне плодоводства России // Известия ТСХА, 2021. - № 2. – С. 5–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-5-13>

6. Нестерова О. П., Прокопьева М. В., Чернов А. В. Влияние биопрепаратов на адаптацию растений //Вестник Чувашского ГАУ, 2023. - № 3. - С. 23-27. <https://doi.org/10.48612/vch/7phe-hp1h-hgfr>

7. Фомин С. Д., Климов С. В. Размножение подвоев косточковых культур методом зеленого черенкования с использованием различных стимуляторов корнеобразования в аридных условиях Северного прикаспия //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование, 2023. - № 1(69). – С. 123-129. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-04>

8. Rootstocks for commercial peach production in the southeastern united states: Current re search, challenges, and opportunities / R. A. Lesmes-Vesga, L. M. Cano, M. A. Ritenour, A. Sarkhosh, J. X. Chaparro, L. Rossi // Horticulturae, 2022. - № 8 (7). www.scopus.com.

9. Тютюма Н. В., Климов С. В. Зеленое че-



ренкование как эффективный метод размножения клоновых подвоев косточковых культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2021. - № 4(64). - С. 44-50. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-04>

10. Фещенко Е.М., Мушинский А.А. Влияние состава органического субстрата в сочетании с органическим удобрением и регулятором роста растений на укоренение одревесневших черенков декоративных культур в условиях закрытого грунта // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2021. - № 5(91). - С. 66 – 71. <https://doi.org/10.376702073-0853-2021-91-5-66-71>

11. Колесар В. А. Эффективность технологии использования органоминеральных удобрений для улучшения урожайности и фитосанитарного состояния посевов сои обыкновенной в Республике Татарстан // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса. Научные труды Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Мартянова А. П. Казанский государственный аграрный университет. Казань, 2022. - С. 556-563.

12. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: a review of recent experimental evidence / M. Hasanuzzaman, M. Bhuyan, K. Parvin et al. // International Journal of Molecular Sciences, 2020. - № 21. - С. 86-95. [https://doi.org/10.3390/](https://doi.org/10.3390/ijms21228695)

[ijms21228695](https://doi.org/10.3390/ijms21228695)

13. Fitzpatrick T.B., Chapman L.M. The Importance of Thiamine (Vitamin B1) in Plant Health: From Crop Yield to Biofortification. Journal of Biological Chemistry, 2020. - С. 295:34, 12002–12013.

<https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.010918>

14. Ghatas Y., Ali M., Elsadek M., Mohamed Y. Enhancing Growth, Productivity and Artemisinin Content of Artemisia annua L. Plant Using Seaweed Extract and Micronutrients. Industrial Crops and Products, 2021. - № 161. - 13202. - С. 113–202.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113202>

15. Ghaderi-Daneshmand N., Bakhshandeh A., Rostami M. R. Biofertilizer affects yield and yield components of wheat // International Journal of Agriculture: Research and Review, 2012. - № 2(6). - С. 699-704. EDN: KZCCYG

16. Коваленко Н.Н. Выращивание посадочного материала садовых культур с использованием зеленого черенкования: методические рекомендации. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2011. 54 с.

17. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур; под общ. ред.: академика РАСХН Е. Н. Седова, д-ра с.-х. наук Т. П. Огольцовой. Орел: Издательство ВНИИСПК, 1999. - С. 34–47.

18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статобработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос, 1985. - 351 с.

References

1. Nikitina A. V., Lentochkin A. M., Fedorov A. V. Vliyanie srokov razmnzheniya zelenymi cherenkami na ukorenyaemost klonovogo podvoya yabloni 54-118 // Izvestiya TSKhA, 2022. - № 2. - С. 45-53. <https://doi.org/10.26897/0021-342Kh-2022-2-45-53>

2. Korneeva S.A., Sedov Ye. N., Yanchuk T. V. Perspektivnost zakladki superintensivnykh bezopornykh sadov kolonovidnykh sortov yabloni // Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki, 2021. - № 5. S.45–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/5/45-48>

3. Nikitina A.V. Sadovodstvo v Udmurtskoy Respublike / A.V. Nikitina, A.M. Lentochkin // Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii, 2022. - № 4(68). - С. 20–30. (In Russ.) https://doi.org/10.48012/1817-5457_2021_4_20

4. Lentochkin A.M., Babaytseva T. A. Globalnoe poteplenie i izmenenie usloviy vedeniya rastenievodstva v Srednem Predural'e // Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka, 2021. - № 22,(6). - С. 826–834. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>

5. Radzhabov A.K., Popov A. Ye., Voskoboynikov, Fesyutin I. A. K voprosu o podbore i razmeshchenii sortov yabloni dlya vyrashchivaniya v tovarnykh sadakh v sredney zone plodovodstva Rossii // Izvestiya TSKhA, 2021. - № 2. - С. 5–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-5-13>

6. Nesterova O. P., Prokopeva M. V., Chernov A. V. Vliyanie biopreparatov na adaptatsiyu rasteniy // Vestnik Chuvashskogo GAU, 2023. - № 3. - С. 23-27. <https://doi.org/10.48612/vch/7phe-hp1h-hgfr>

7. Fomin S. D., Klimov S. V. Razmnzhenie podvov kostochkovykh kultur metodom zelenogo cherenkovaniya s ispolzovaniem razlichnykh stimulyatorov korneobrazovaniya v aridnykh usloviyakh Severnogo prikaspiya // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie, 2023. - № 1(69). - С. 123-129. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-04>

8. Rootstocks for commercial peach production in the southeastern united states: Current research, challenges, and opportunities / R. A. Lesmes-Vesga, L. M. Cano, M. A. Ritenour, A. Sarkhosh, J. X. Chaparro, L. Rossi // Horticulturae, 2022. - № 8 (7). www.scopus.com.

9. Tyutyuma N. V., Klimov S. V. Zelenoe cherenkovanie kak effektivnyy metod razmnzheniya klonovykh podvov kostochkovykh kultur // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie, 2021. - № 4(64). - С. 44-50. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-04-04>

10. Feshchenko Ye.M., Mushinskiy A.A. Vliyanie sostava organicheskogo substrata v sochetanii s organicheskim udobreniem i regulyatorom rosta rasteniy na ukorenenie odrevsnenivshikh cherenkov dekorativnykh kultur v usloviyakh zakrytogo grunta // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2021. - № 5(91). - С. 66 – 71. <https://doi.org/10.376702073-0853-2021-91-5-66-71>



11. Kolesar V. A. *Effektivnost tekhnologii ispolzovaniya organomineralnykh udobreniy dlya uluchsheniya urozhaynosti i fitosanitarnogo sostoyaniya posevov soi obyknovennoy v Respublike Tatarstan // Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnicheskoy bazy agropromyshlennogo kompleksa. Nauchnye trudy Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati d.t.n., professora Martyanova A. P. Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. Kazan, 2022. – S. 556-563.*
12. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: a review of recent experimental evidence / M. Hasanuzzaman, M. Bhuyan, K. Parvin et al. // *International Journal of Molecular Sciences*, 2020. - № 21. – С. 86-95. <https://doi.org/10.3390/ijms21228695>
13. Fitzpatrick T.B., Chapman L.M. The Importance of Thiamine (Vitamin B1) in Plant Health: From Crop Yield to Biofortification. *Journal of Biological Chemistry*, 2020. – С. 295:34, 12002–12013. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.010918>
14. Ghatas Y., Ali M., Elsadek M., Mohamed Y. Enhancing Growth, Productivity and Artemisinin Content of *Artemisia annua* L. Plant Using Seaweed Extract and Micronutrients. *Industrial Crops and Products*, 2021. - № 161. – 13202. - С. 113–202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113202>
15. Ghaderi-Daneshmand N., Bakhshandeh A., Rostami M. R. Biofertilizer affects yield and yield components of wheat // *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2012. - № 2(6). – С. 699-704. EDN: KZCCYG
16. Kovalenko N.N. *Vyrashchivanie posadochnogo materiala sadovykh kultur s ispolzovanie zelenogo cherenkovaniya: metodicheskie rekomendatsii. Krasnodar: SKZNIISiV, 2011. 54 s.*
17. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur; pod obshch. red.: akademika RASKhN Ye. N. Sedova, d-ra s.-kh. nauk T. P. Ogoltsovoy. Orel: Izdatelstvo VNIISPK, 1999. – S. 34–47.*
18. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statobrabotki rezultatov issledovaniy). 5-e izd., pererab. i dop. Moskva: Kolos, 1985. - 351 s.*

Информация об авторе

Зацепина Илона Валериевна, канд. с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории генофонда, Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, ilona.valerevna@mail.ru

Author Information

Zatsepina Ilona V., Candidate of Agricultural Sciences, Researcher at the Gene Pool Laboratory, I. V. Michurin Federal Research Center, ilona.valerevna@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.03.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 05.03.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 628.345.1.

DOI: 10.36508/RSATU.2025.10.40.007

ИССЛЕДОВАНИЕ ζ -ПОТЕНЦИАЛА ПРИ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ НАВОЗА**Татьяна Андреевна Колесникова¹✉, Марина Анатольевна Куликова²**

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

¹ tanechka-ko1986@yandex.ru

² my7rysyk@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В статье рассмотрены актуальные проблемы, связанные с утилизацией свиного навоза, который, с одной стороны, представляет собой серьёзную угрозу для окружающей среды, а с другой – является ценным источником питательных элементов для сельского хозяйства. Увеличение объёмов животноводства в мире требует поиска эффективных методов обработки навоза, позволяющих минимизировать его негативное воздействие на экосистемы и одновременно использовать его в качестве органического удобрения. Целью данного исследования является изучение изменения ζ -потенциала в процессе реагентной коагуляции свиного навоза с использованием различных коагулянтов: известкового молока, шлама карбида кальция и дефекационной извести. В работе также рассматривается влияние доз коагулянтов и уровня pH на эффективность процесса коагуляции и достижение порога коагуляции, что позволит разработать рекомендации для оптимизации обработки навоза и его дальнейшего использования в сельском хозяйстве.

Методология. Для определения стабильности коллоидной системы и установления эффективных доз коагулянтов, при которых начинается максимально быстрая коагуляция, в исследуемых образцах осуществляли измерение ζ -потенциала с помощью Photocor Compact-Z (Фотокор, Россия). Метод измерений основан на исследовании динамического рассеяния света в режиме измерения скорости потока (в режиме лазерного доплеровского анемометра). В качестве коагулянтов рассматривали щелочные реагенты: 20 % суспензию известкового молока, 20 % суспензию шлама карбида кальция и 20 % суспензию дефекационной извести (отхода сахарного производства).

Результаты. Результаты показали, что достижение нулевого значения ζ -потенциала способствует дестабилизации коллоидных частиц и их агрегации. Наиболее эффективным коагулянтом оказалась суспензия дефекационной извести, обеспечившая быструю коагуляцию при минимальной дозе (1,0 г/дм³). Установлено, что порог коагуляции достигается при pH 11,5-13 в зависимости от типа коагулянта.

Выводы. Исследование зависимости дзета-потенциала от доз коагулянтов имеет важное значение при обработке свиного навоза. В результате исследования установлены дозы коагулянтов, при которых происходит увеличение значений pH и снижение дзета-потенциала до 0 мВ, обуславливающих начало быстрой коагуляции и дестабилизацию коллоидной системы. При установленных значениях pH исследуемых образцов и дозах коагулянтов достигается агрегация коагулированных твердых частиц в более крупные хлопья, что приводит к их быстрому осаждению. Полученные результаты позволят повысить эффективность разделения свиного навоза на жидкую и твердую фракцию с получением органоминерального удобрения.

Ключевые слова: свиной навоз, коагуляция, реагенты, дзета-потенциал, удобрения, pH

Для цитирования: Колесникова Т.А., Куликова М.А. Исследование ζ -потенциала при реагентной обработке навоза // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, № 2. С.43-49 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.10.40.007](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.10.40.007)

Original article

STUDY OF ζ -POTENTIAL IN REAGENT TREATMENT OF MANURE**Tatyana A. Kolesnikova¹✉, Marina A. Kulikova²**

^{1,2} South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia

¹ tanechka-ko1986@yandex.ru² my7rysyk@mail.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The article considers current problems associated with the disposal of pig manure, which, on the one hand, poses a serious threat to the environment, and on the other hand, is a valuable source of nutrients for agriculture. The increase in livestock production in the world requires the search for effective methods of manure processing that minimize its negative impact on ecosystems and at the same time use it as an organic fertilizer. The purpose of this study is to study the change in ζ -potential in the process of reagent coagulation of pig manure using various coagulants: lime milk, calcium carbide sludge and defecation lime. The work also considers the effect of coagulant doses and pH on the efficiency of the coagulation process and the achievement of the coagulation threshold, which will allow developing recommendations for optimizing manure processing and its further use in agriculture.

Methodology. To determine the stability of the colloidal system and establish effective doses of coagulants, at which the fastest coagulation begins in the studied samples, the ζ -potential was measured using Photocor Compact-Z (Photocor, Russia). The measurement method is based on the study of dynamic light scattering in the flow velocity measurement mode (in the laser Doppler anemometer mode). Alkaline reagents were considered as coagulants: 20% suspension of lime milk, 20% suspension of calcium carbide sludge and 20% suspension of defecation lime (waste from sugar production).

Results. The results showed that reaching zero ζ -potential value promotes destabilization of colloidal particles and their aggregation. The most effective coagulant was a suspension of defecation lime, which ensured rapid coagulation at a minimum dose (1.0 g/dm³). It was found that the coagulation threshold is reached at pH 11.5–13, depending on the type of coagulant.

Conclusion. The study of the dependence of the zeta potential on the doses of coagulants is important in the processing of pig manure. As a result of the study, the doses of coagulants were determined at which the pH values increase and the zeta potential decreases to 0 mV, causing the onset of rapid coagulation and destabilization of the colloidal system. At the established pH values of the studied samples and doses of coagulants, agglomeration of coagulated solid particles into larger flakes is achieved, which leads to their rapid sedimentation. The results obtained will improve the efficiency of separating pig manure into liquid and solid fractions with the production of organomineral fertilizer.

Key words. Pig manure, coagulation, reagents, zeta potential, fertilizers, pH

For citation: Kolesnikova T.A., Kulikova M.A. Study of ζ -potential in reagent treatment of manure // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.2, P. 43–49 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.10.40.007>

Введение

В последние десятилетия во всём мире значительно возросла активность в сфере животноводства, чтобы удовлетворить пищевые потребности растущего населения. Огромное количество накопленного навоза свиней наносит урон окружающей среде. Внесение навоза на поля сельскохозяйственных угодий без соответствующей подготовки может вызвать загрязнение почв и водной среды [1]. Загрязнение воды в основном происходит из-за утечки хранящегося навоза или сброса его без надлежащей обработки, что может увеличить биохимическую потребность в кислороде (БПК), химическую потребность в кислороде (ХПК), содержание растворённого аммиака и фосфора в воде, вызывая цветение водорослей в пресноводных системах [2]. Это становится серьёзной проблемой во всём мире.

Вместе с тем свиной навоз содержит значительные количества питательных элементов и обладает высокой агрономическим ценностью. Эти оба фактора обуславливают актуальность поиска эффективного метода обработки навоза для использования его в качестве органического удобрения. Утилизация навоза, в основном, осуществляется двумя способами: анаэробное сбраживание и разделение твёрдых и жидких веществ. Механическая очистка с использованием мембран, химическая очистка, компостирование в

буртах, сепараторы и анаэробное сбраживание – это распространённые коммерческие технологии для обработки навоза и навозных стоков. Твердо-жидкое разделение навоза животноводческих хозяйств позволяет получить два ресурса: жидкая фракция содержит высокую концентрацию растворимого азота, который является источником удобрений, используемых в сельском хозяйстве, а отделенная твердая фракция, содержащая органические вещества, фосфор и твердые частицы, может быть использована для производства удобрений и выработки энергии [3].

Часто используемые методы твердо-жидкого разделения включают физические методы, такие как осаждение, центрифугирование, шнековое прессование, просеивание и фильтрацию. Однако некоторые из них требуют большого количества энергии. При химической обработке 75 % воды из навоза отделяется, в результате чего получается жидкость и осадок, состоящий из фосфора, органического азота, аммония и калия [4]. Коагуляция – одно из экономичных и простых в применении решений для разделения твёрдых и жидких веществ в навозе. Чаще всего при коагуляции в результате добавления коагулянтов или органических полимеров дисперсные и коллоидные частицы в растворе объединяются и образуют хлопья. Большинство взвешенных частиц в сточных водах с pH выше 4 имеют отрицательный заряд. Поэтому



в качестве коагулянтов используются неорганические соли с многовалентными катионами, такие как алюминий (Al), железо (Fe) и кальций (Ca) [5]. Существует ограниченное количество информации об оптимизации химической коагуляционной обработки для разделения твердых и жидких веществ в навозе свиного комплекса.

В научной работе [6] предложена методика реагентной обработки свиноводческих стоков с получением органоминерального удобрения, где технологический процесс включает двухэтапную обработку: первичное разделение на фракции с использованием щелочных коагулянтов с последующей кислотной коррекцией pH среды, при этом, хотя оптимальные дозировки коагулянтов были определены эмпирическим путем, актуальным остается вопрос изучения корреляции между количеством вводимых реагентов и изменением электрохимических характеристик коллоидной системы, поскольку свиноводческие стоки представляют собой типичную коллоидную систему с отрицательно заряженными частицами, электростатические свойства которых определяются образованием двойного электрического слоя (ДЭС), состоящего из адсорбционного слоя катионов, компенсирующих поверхностный заряд, и диффузной части противоионов в растворе. Причем формирующийся на границе раздела фаз электрокинетический (ζ) потенциал, величина которого отражает степень устойчивости дисперсной системы, где отрицательные значения ζ -потенциала свидетельствуют о преобладании поверхности заряда частиц над компенсирующим действием противоионов, а экспериментально установлено, что при значениях $|\zeta| > 30$ мВ система демонстрирует высокую устойчивость, тогда как при $|\zeta| < 20$ мВ наблюдается спонтанная коагуляция [7,8], в связи с чем в рамках настоящего исследования проводится мониторинг динамики ζ -потенциала при введении различных типов коагулянтов с использованием потенциометрической методики, а полученные данные позволяют оптимизировать процесс обработки за счет точного контроля дестабилизации коллоидной системы.

Материалы и методы исследования

Образцы свиноводческих стоков были отобраны на территории животноводческого комплекса в Зерноградском районе Ростовской области, а лабораторный анализ проводился в условиях университетской лаборатории ЮРГГУ (НПИ) им. М.И. Платова с соблюдением принципа трехкратной повторности экспериментов, при этом для исследований использовались пробы объемом 1 литр.

В ходе работы изучалась эффективность трех щелочных коагулянтов: известковое молоко (20 % суспензия), шлам карбида кальция (20 % концентрация) и дефекат сахарного производства (20 % взвесь). Оценка устойчивости коллоидной системы и определение оптимальных доз коагулянтов проводились путем измерения электрокинетического потенциала на анализаторе Photocor Compact-Z российского производства, где в основе методики лежит принцип динамического светорассеяния с применением лазерной доплеровской анемометрии,

что обеспечивает отсутствие необходимости калибровки оборудования, возможность работы с непрозрачными и концентрированными средами, а также исследование зависимости ζ -потенциала от кислотности среды [9,10].

Технические параметры измерений включали: источник излучения – диодный лазер ($\lambda=659$ нм, 25 мВт), рабочий объем пробы – 2 мл, тип кювет – стандартные стеклянные, измерительный адаптер – фторопластовый с электродами (стекло-углеродные/золотые). В дисперсных системах на границе раздела фаз формируется двойной электрический слой (ДЭС), состоящий из адсорбированных потенциалопределяющих ионов и подвижного слоя противоионов, при этом при относительном движении фаз происходит разделение ДЭС по плоскости скольжения, расположенной между адсорбционным и диффузным слоями, а разность потенциалов между этой плоскостью и объемом дисперсионной среды характеризуется ζ -потенциалом.

Высокие значения ζ -потенциала ($>|30|$ мВ) свидетельствуют об устойчивости системы, низкие значения ($<|20|$ мВ) указывают на склонность к коагуляции, а критический потенциал коагуляции составляет около $|20-25|$ мВ. Контроль кислотности среды на всех этапах обработки осуществлялся с помощью иономеров ЭкоТест-2000, что позволило установить корреляцию между pH и эффективностью коагуляции.

Дисперсная система навоза будет устойчива в отношении агрегации при высоком ζ -потенциале. При низком ζ -потенциале притяжение частиц превышает отталкивание и нарушается устойчивость системы. Коллоидные системы электрически стабильные при высоком ζ -потенциале, а системы с низким ζ -потенциалом обладают способностью к коагуляции или флокуляции.

Результаты исследований и их обсуждение

Дзета-потенциал является ключевым параметром, используемым для оценки эффективности коагуляции, и обеспечивает точную меру нейтрализации заряда. Когда ζ -потенциал приближается к нулю, это указывает на оптимальные условия для агрегации твердых частиц. Коллоидные частицы, несущие одинаковый электрический заряд, испытывают электростатическое отталкивание, из-за чего они отталкиваются друг от друга, образуя стабильную коллоидную систему [11].

Для преодоления этого отталкивания между частицами, приводящего к дестабилизации коллоидной системы [12], требуется внешняя энергия. В исследовании по мере постепенного увеличения дозировки коагулянтов дзета-потенциал исходного навоза (-19 мВ) увеличивался в результате уменьшения силы отталкивания между частицами. Дзета-потенциал увеличился до нуля при дозировке коагулянта (по чистому CaO) от 2,5 до 3 г/дм³ при использовании в качестве коагулянта суспензии известкового молока, от 2,0-2,5 г/дм³ при использовании суспензии шлама карбида кальция, от 0,5-1,0 г/дм³ суспензии дефекационной извести в результате нейтрализации заряда (рис.1).

В результате математической обработки результатов исследования получены следующие зависимости: 1 – 20 % суспензия известкового молока $y=0,375x_2+0,7321x-21,232$ при $R_2=0,95$; 2 – 20 % суспензия шлама карбида кальция $y=0,131x_2+5,631x-27,5$ при $R_2=0,95$; 3 – 20 % суспензия дефекационной извести $y=12,872\ln(x)-13,937$ при $R_2=0,85$. Очевидно, что для всех полученных зависимостей доза коагулянта является определяющим фактором.

Коагулянты воздействуют на жидкий навоз таким образом, что теряется агрегативная устойчивость системы, так как под действием заряда ионов коагулянтов идет разряжение поверхности дисперсных частиц, а также сжатие диффузионного слоя за счет снижения его дзета-потенциала. Это способствует их слипанию под действием сил молекулярного взаимодействия, благодаря чему они образуют более крупные агрегатные образования, которые далее легко можно отделить от водной среды (рис.2.).

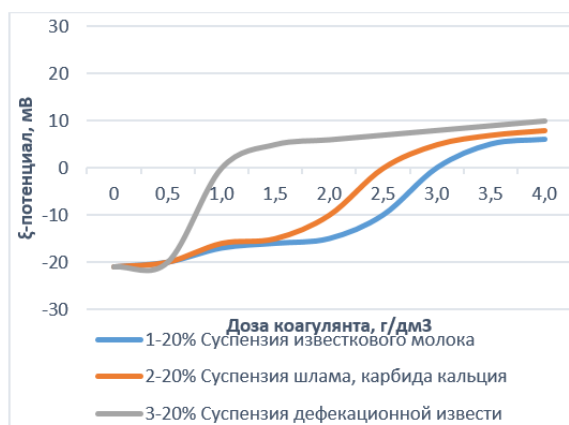


Рис. 1 – Исследование зависимости ζ -потенциала от дозы коагулянтов: 1 – 20 % суспензия известкового молока; 2 – 20 % суспензия шлама карбида кальция; 3 – 20 % суспензия дефекационной извести

Fig.1 - Study of the dependence of ζ -potential on the dose of coagulants: 1 – 20 % suspension of chalk milk; 2 – 20 % suspension of calcium carbide sludge; 3 – 20 % suspension of defecation chalk)

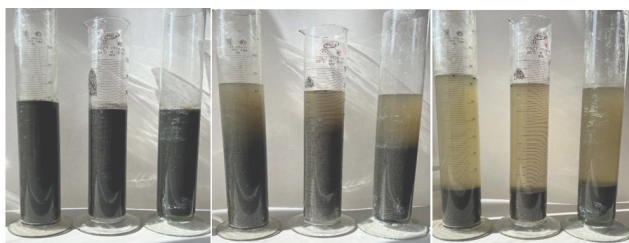


Рис. 2 – Этапы реагентной обработки различными коагулянтами: а) исходный навоз до обработки; б) порог коагуляции, ζ -потенциал равен 0 мВ; в) результаты коагуляции через 30 мин.

Fig. 2 – Stages of reagent treatment with different coagulants: a) initial manure before treatment; b) coagulation threshold, ζ -potential equals 0 mV; c) coagulation results after 30 min

Такой эффект наступает при снижении величины ζ -потенциала до 0 В. Так, при использовании в качестве коагулянта 20 % суспензии известкового молока отмечался рост дзета-потенциала с -19 мВ до 8,2 мВ, порог коагуляции наступал при внесении дозы 3 г/дм³. Значения ζ -потенциала при применении 20 % суспензии шлама карбида кальция изменялось с -19 мВ до 10,1 мВ, а порог коагуляции наступал при обработке дозой 2,5 г/дм³. Внесение в исследуемый навоз 20 % суспензии дефекационной извести привело к изменению дзета-потенциала с -19 мВ до 13,6 мВ и началу быстрой коагуляции при дозе 1,0 г/дм³.

Дзета-потенциал изменяется от отрицательных до положительных значений по мере увеличения pH. Дзета-потенциал исходного навоза показал отрицательные значения при базовых уровнях pH (6,0-7,0), что указывает на недостаточную дестабилизацию отрицательно заряженных коллоидов, присутствующих в навозе. Значение pH, при котором ζ -потенциал равен нулю, называется изоэлектрической точкой или порогом коагуляции. Здесь происходит коагуляция частиц, потому что электрический двойной слой практически нейтрализован (рис.3.).

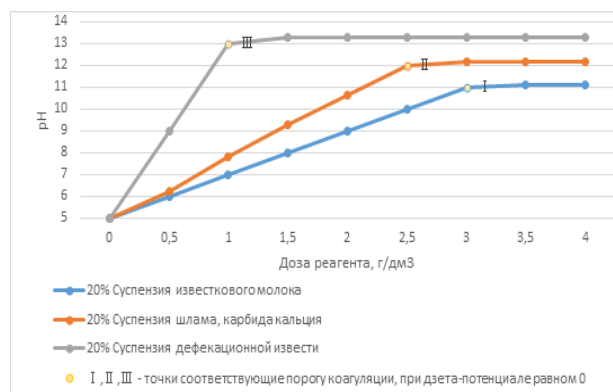


Рис. 3 – Изменение значений pH при достижении порога коагуляции при использовании: 1 – 20 % суспензия известкового молока; 2 – 20 % суспензия шлама карбида кальция; 3 – 20 % суспензия дефекационной извести
Fig.3 – Change in pH values when reaching the coagulation threshold using: 1 – 20 % chalk milk suspension; 2 – 20 % calcium carbide sludge suspension; 3 – 20 % defecation chalk suspension)

При математической обработке результатов исследования получены следующие зависимости: 1 – 20 % суспензия известкового молока $y=3,1373\ln(x)+4,2263$ при $R_2=0,95$; 2 – 20 % суспензия шлама карбида кальция $y=3,7876\ln(x)+4,2263$ при $R_2=0,95$; 3 – 20 % суспензия дефекационной извести $y=3,6039\ln(x)+6,7071$ при $R_2=0,80$. Доза реагента является решающим фактором.

Установлено пороговое значение pH, достигаемое внесением исследуемых коагулянтов, при котором наступает быстрая коагуляция: 11,5; 12; 13 для обработки суспензией известкового молока, суспензией шлама карбида кальция и суспен-



зией дефекационной извести, соответственно. Определены зависимости значений pH от доз применяемых реагентов. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что минимальным значением pH, при котором обнаруживается порог коагуляции, является pH=11.

Наблюдается прямая зависимость между зна-

чением ζ -потенциала и устойчивостью коллоидной системы свиного навоза.

Авторами исследовано изменение физико-химических показателей образцов свиноводческих стоков до начала коагуляции с использованием в качестве коагулянта суспензии дефекационной извести и после ее завершения.

Таблица 2 –Физико-химические показатели образцов свиноводческих стоков до и после коагуляции

Показатели	Жидкая фаза до коагуляции	Твердая фаза до коагуляции	Жидкая фаза после коагуляции	Твердая фаза после коагуляции
Влажность, %	99,7	98,0	100,00	91,2
Зольность, %	32,85	20,0	-	42,85
-	42,85			
Органическое вещество, %	67,15	80,31	-	57,15
Углерод, %	33,58	40,16	-	28,58
Азот, мг/дм ³				
-общий	700	300	300	400
-NH ₄ ⁺	600	100	200	300
-NO ₂ ⁻	0	0	20	20
-NO ₃ ⁻	30	38	20	55
P ₂ O ₅ , мг/дм ³	700	200	100	800
K ₂ O, мг/дм ³	400	200	100	500
N:P:K	1:1:1,18	1,5:1:1	3:1:1	1:2:1,25

В результате коагуляции с эффективными дозами реагентов, установленными с помощью зета-потенциала, произошло перераспределение содержания биогенных элементов между жидкой и твердой фазами свиноводческих стоков. Уменьшается концентрация фосфора в жидкой фазе за счет осаждения малорастворимых соединений фосфора. Содержание общего калия по фазам распределилось пропорционально количеству в них сухого вещества.

Закключение

Проведённые исследования показали, что реагентная коагуляция является перспективным методом для разделения твёрдой и жидкой фракций свиного навоза. Установлено, что эффективность коагуляции напрямую зависит от изменения ζ -потенциала коллоидной системы. При достижении нулевого значения ζ -потенциала происходит дестабилизация коллоидных частиц, что способствует их агрегации и последующему разделению фракций. Наибольшая эффективность коагуляции наблюдалась при использовании 20 % суспензии дефекационной извести, которая обеспечила быстрое достижение порога коагуляции при минимальной дозе реагента (1,0 г/дм³).

Результаты исследования также подтвердили, что значение pH играет ключевую роль в процессе коагуляции. Порог коагуляции достигался при pH 11,5-13 в зависимости от типа коагулянта. Это открывает возможности для оптимизации процесса обработки навоза с учётом экономических и экологических факторов.

Таким образом, предложенный метод реагентной коагуляции с использованием различных коагулянтов позволяет не только эффективно разделять свиной навоз на твёрдую и жидкую фракции, но и создавать условия для его дальнейшего использования в качестве органического удобрения. Это способствует снижению экологической нагрузки на окружающую среду и повышению устойчивости сельскохозяйственного производства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию доз коагулянтов и изучение влияния других факторов на процесс коагуляции для повышения эффективности утилизации навоза.

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. Meetiyagoda, T., Takahashi, T. et.al. Response surface optimization of chemical coagulation for solid-liquid separation of dairy manure slurry through Box-Behnken design with desirability function// Heliyon. – 2023.-№9.-DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e17632.
4. Makara, A., Kowalski, Z. Selection of pig manure



management strategies: Case study of Polish farms// *Journal of Cleaner Production*. -2018.- Pages 187-195.

5. Wei,N., Zhang,Z.,et.al. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: effects of pH and coagulant dosage// *Chinese Journal of Chemical Engineering*.-2015.-№23-pp. 1041-1046,DOI: 10.1016/J.CJCHE.2015.02.00

6. Патент РФ № 2018131280, 21.11.2019. Способ подготовки сточных вод свиноводческих комплексов для сельскохозяйственного использования// Патент России №2706971. 2018. Бюл. № 33./ Колесникова Т.А., Куликова М.А., Грибут Е.А., Суржко О.А.

7. Zarean, M., Parsaei,R.et.al. A comprehensive experimental and simulation study of zeta potential at carbonate-brine interface for calcite and dolomite particles// *Journal of Molecular Liquids* .-2024.-№400.-DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124462

8. Wal,M., Borneman, Z. Optimizing flocculation of

digestate to increase circularity in manure treatment// *Bioresource Technology Reports*.-2023.- №23-DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101561

9. ГОСТ Р 8.887-2015. Потенциал электрокинетический (дзета-потенциал) частиц в коллоидных системах. Москва: Стандартинформ. - 2016.

10. ГОСТ ISO 13099-2-2016. Методы определения дзета-потенциала. Часть 2. Москва: Стандартинформ. - 2016.

11. Дешабо В.А., Косов В.Я., и др. Конструкция и метрологические характеристики отечественных анализаторов Photocor для измерения размеров частиц и дзета-потенциала нанодисперсных систем // Серия научных конференций «Физика». 2022. Т. 2192. № 1. С. 12032-12035.

12. Owodunni, A., Ismail,S. Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review// *Journal of Water Process Engineering*. - 2021. - №42. - DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102096

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. Meetiayagoda,T., Takahashi,T. et.al. Response surface optimization of chemical coagulation for solid–liquid separation of dairy manure slurry through Box–Behnken design with desirability function// *Heliyon*. - 2023. - №9. - DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e17632.

4. Makara,A., Kowalski,Z. Selection of pig manure management strategies: Case study of Polish farms// *Journal of Cleaner Production*. - 2018.- Pages 187-195.

5. Wei,N., Zhang,Z.,et.al. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: effects of pH and coagulant dosage// *Chinese Journal of Chemical Engineering*.-2015.-№23-pp. 1041-1046, DOI: 10.1016/J.CJCHE.2015.02.00

6. Patent RF № 2018131280, 21.11.2019. Sposob podgotovki stochnykh vod svinovodcheskikh kompleksov dlya sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya// Patent Rossii №2706971. 2018. Byul. № 33. / Kolesnikova T.A., Kulikova M.A., Gribut Ye.A., Surzhko O.A.

7. Zarean, M., Parsaei,R.et.al. A comprehensive experimental and simulation study of zeta potential at carbonate-brine interface for calcite and dolomite particles// *Journal of Molecular Liquids* .-2024.-№400.-DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124462

8. Wal,M., Borneman, Z. Optimizing flocculation of digestate to increase circularity in manure treatment// *Bioresource Technology Reports*.-2023.- №23-DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101561

9. GOST R 8.887-2015. Potentsial elektrokineticheskii (dzeta-potentsial) chastits v kolloidnykh sistemakh. Moskva: Standartinform. - 2016.

10. GOST ISO 13099-2-2016. Metody opredeleniya dzeta-potentsiala. Chast' 2. Moskva: Standartinform. - 2016.

11. Deshabo V.A., Kosov V.YA., i dr. Konstruktsiya i metrologicheskiye kharakteristiki otechestvennykh analizatorov Photocor dlya izmereniya razmerov chastits i dzeta-potentsiala nanodispersnykh sistem // *Seriya nauchnykh konferentsiy «Fizika»*. 2022. T. 2192. № 1. S. 12032-12035.

12. Owodunni, A., Ismail,S. Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review// *Journal of Water Process Engineering*. - 2021. - №42. - DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102096

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., кафедра «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия, tanechka-ko1986@yandex.ru

Куликова Марина Анатольевна, доцент, кафедра «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия, 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, Novocherkassk, Russia, tanechka-ko1986@yandex.ru

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

Статья поступила в редакцию 01.04.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 10.06.2026.

The article was submitted 01.04.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Научная статья
УДК 631.171:004
DOI: 10.36508/RSATU.2025.37.17.008

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОВОРОТА ПРИ РЕВЕРСИВНОМ СПОСОБЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Сергей Анатольевич Васильев¹ ✉, Захид Адыгезалович Годжаев², Сергей Александрович Мишин³, Виктор Васильевич Алексеев⁴, Алексей Николаевич Бачурин⁵

^{1,3,4} ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, Чувашская Республика, Россия

¹ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская область, Россия

² ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ vsa_21@mail.ru

² fic51@mail.ru

³ supers.ya@yandex.ru

⁴ av77@list.ru

⁵ bachurin62@mail.ru

Аннотация.

Цель исследования – рассчитать оптимальный поворот при реверсивном способе движения автоматизированного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) для повышения его эксплуатационной эффективности.

Материалы и методы. Расчет оптимального поворота МТА на поворотной полосе является важной частью процесса планирования маршрута на сельскохозяйственном поле. Однако задача оптимизации траектории поворота на ограниченной полосе представляет собой сложную задачу динамической нелинейной оптимизации, которую трудно решить с помощью традиционных численных методов. Рассмотрены дифференциальные уравнения Лагранжа второго рода для криволинейного движения МТА на разворотной полосе в декартовой системе. Однако решения этой системы дифференциальных уравнений, определяющие семейство «игольчатых разворотов» реверсивного движения, будут постоянно ограничены. В этом исследовании мы использовали метод оптимизации для решения задачи короткого поворота в ограниченных условиях поворотной полосы.

Результаты и обсуждение. Разработаны кинематические модели МТА с роторной косилкой и сформулированы проблемы оптимизации поворота на поворотной полосе с учетом эксплуатационных ограничений. Рассматривая широкий выбор сценариев поворота на поворотной полосе при реверсивном движении – от симметричного до несимметричного игольчатого поворота, был выбран оптимальный для МТА с роторной косилкой. Благодаря интеграции модели МТА в реализацию технологического процесса путем – фасонный поворот с определенными параметрами и рассчитан для заданных условий эксплуатации.

Выводы. Аналитические исследования автоматизированного сельскохозяйственного МТА с косилкой (приняты характеристики минитрактора Уралец 224 и роторной косилки Н-17) показали, что значения эксплуатационных и геометрических показателей для фасонного поворота укладываются в минимальную ширину разворота – 3,65 м и длину пути – 7,74 м.

Ключевые слова: оптимизация поворота, реверсивный способ, движение, автоматизация, машинно-тракторный агрегат

Для цитирования: Васильев С.А., Годжаев З.А., Мишин С.А., Алексеев В.В., Бачурин А.Н. Оптимизация поворота при реверсивном способе движения автоматизированного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.2, С. 50-57 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.37.17.008](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.37.17.008)

© Васильев С.А., Годжаев З.А., Мишин С.А., Алексеев В.В., Бачурин А.Н., 2025 г.



Original article

OPTIMIZATION OF ROTATION WITH A REVERSIBLE METHOD OF MOVEMENT OF AN AUTOMATED AGRICULTURAL MACHINE AND TRACTOR UNIT

Sergey A. Vasilyev¹, **Zakhid A. Godzhaev²**, **Sergey A. Mishin³**, **Viktor V. Alekseev⁴**, **Alexey N. Bachurin⁵**^{1,3,4} Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia¹ The Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russia² FSBSI «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», Moscow, Russia⁵ Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia¹ vsa_21@mail.ru² fic51@mail.ru³ supers.ya@yandex.ru⁴ av77@list.ru⁵ bachurin62@mail.ru**Abstract.****Problem and purpose.** To calculate the optimal rotation with a reversible method of movement of an automated agricultural machine and tractor unit to increase the operational efficiency of the MTA.**Methodology.** Calculation of the optimal turn of the MTA on the turn lane is an important part of the route planning process in an agricultural field. However, the problem of optimizing the turning trajectory in a limited lane is a complex problem of dynamic nonlinear optimization, which is difficult to solve using traditional numerical methods. In this study, we investigated the possibility of using optimization methods to solve the short turn problem in limited turn lane conditions.**Results.** Kinematic models of an MTA with a rotary mower have been developed and problems of optimizing rotation on the turn lane by including its model and taking into account operational limitations have been formulated. Considering a wide range of scenarios for turning on the turn lane in reverse motion: from symmetrical to asymmetrical needle turn, the optimal one was chosen for an MTA with a rotary mower. Thanks to the integration of the MTA model and the implementation of the optimization process on the agricultural site, an alternative option was obtained - a shaped turn with certain parameters and illustrated for the specified operating conditions.**Conclusion.** Analytical studies of an automated agricultural MTA with a mower (the characteristics of the Uralets 224 minitractor and the N-17 rotary mower were adopted) showed that the values of operational and geometric parameters for a shaped turn fit into the minimum turn width of 3.65 m and the path length of 7.74 m.**Key words:** optimization of rotation, reversible method, movement, automation, machine-tractor unit**For citation:** Vasiliev S.A., Godzhaev Z.A., Mishin S.A., Alekseev V.V., Bachurin A.N. Optimization of rotation with a reversible method of movement of an automated agricultural machine and tractor unit // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.2, P. 50-57 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.37.17.008>**Введение**

В условиях быстрого развития беспилотных технологий в современном сельском хозяйстве автоматизированное планирование пути играет важную роль в работе на сельскохозяйственных полях, а поворот МТА на поворотной полосе является важной частью технологического процесса [1]. Движение на поворотной полосе должно выполняться за минимальное время в ограниченных условиях [2]. Оптимизация управления поворотом может помочь улучшить экономию времени и топлива, а также увеличить эффективность использования поля при запланированной рациональной траектории [3]. Поэтому для повышения эффективности использования мобильных сельскохозяйственных полевых машин с автоматическими системами управления оптимизация траектории поворота на разворотной полосе представляет большой интерес.

Модель движения МТА сложна и нелинейна, поэтому алгоритмы линейной оптимизации не способны решить проблему [4]. Для планирования движения неавтономных мобильных энергетических средств на протяжении многих лет исследовались различные схемы оптимизации [5]. Например, были исследованы некоторые почти оптимальные движения, которые сочетают выборку с численной оптимизацией или сглаживанием, такие как алгоритм частичного сокращения [6] и расширяемый мета-алгоритм [7]. Совсем недавно были разработаны некоторые асимптотически оптимальные системы планирования. Например, схема планирования движения и динамического перепланирования на основе выборки с одним запросом была теоретически изучена в работе Отте М. [8], а динамические ограничения рассматривались и оценивались Кариу К. в работе [9].

В наших исследованиях были предложены оп-



тимизированные перемещения МТА на сельскохозяйственном поле [10]. Установлено, что для склоновых земель, изрезанных оврагами и балками, возможность сокращения времени выполнения сельскохозяйственных операций достигает 23 % [11].

Численные решения задачи оптимизации траектории перемещения МТА можно разделить на два подхода: косвенные методы и прямые методы [12]. Косвенные решения используют аналитически необходимые условия из вариационного исчисления, что требует добавления переменных, сопутствующих условиям задачи. Однако при использовании косвенных методов результаты, включая дифференциальные уравнения, граничные условия и ограничения пути, обычно представляют собой сложные математические выражения. Прямые решения превращают проблему в задачу нелинейного программирования, которая в процессе решения преобразуется из задачи непрерывного оптимального управления в задачу оптимизации параметров [13]. По сравнению с косвенными методами прямые методы значительно развились, отмечается в работе [14], и используются в коммерческих продуктах для управления техникой.

Известно, что на мелкоконтурных участках процент холостых ходов достаточно велик, поэтому можно увеличить эксплуатационную эффективность МТА за счет минимизации времени или пути поворота [15]. МТА, оснащенные автоматизированными системами управления и навесными сельскохозяйственными машинами, имеют возможность выполнять оригинальные способы движения и повороты, в том числе реверсивное движение, применяемое на склонах.

Цель исследований

Рассчитать оптимальный поворот при реверсивном способе движения автоматизированного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата для повышения его эксплуатационной эффективности.

Материалы и методы

Реверсивное движение МТА выполняется преимущественно при механизированных работах в особо сложных условиях, например, проведение агротехнических и лесовосстановительных операций на склоновых землях и др.

Проблему поворота при реверсивном движении МТА на поворотной полосе можно описать следующей общей схемой, представленной на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1, поворотная полоса расположена между двумя «запрещенными» зонами, за границы которых можно принять параллельные прямые линии. Предполагается, что МТА проедет от начальной точки 1 до конечной точки 2, обе из которых расположены на нижней граничной линии. В процессе поворота траектория ограничивается зоной разворота, это означает, что МТА недопустимо въезжать в запрещенные зоны.

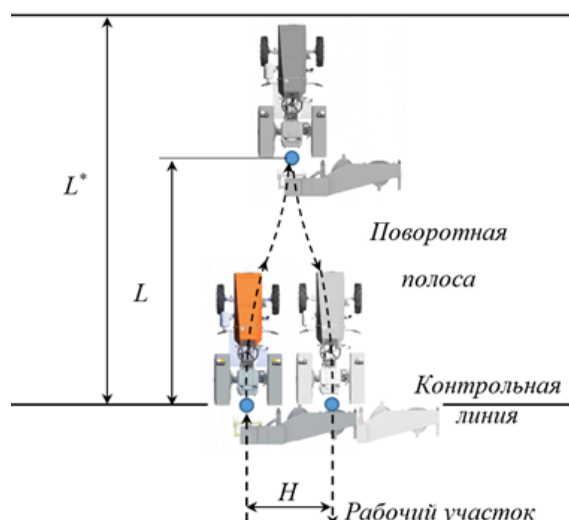


Рис. 1 – Схема поворота при реверсивном движении МТА на поворотной полосе

Fig. 1 – Scheme of turning during reversible movement of MTA on the turning lane

С этим сценарием принимаем следующие цели оптимизации:

- минимальная ширина поворотной полосы b ;
- минимальный путь на повороте s ;
- минимальное время воздействия на рулевое колесо t .

При повороте на разворотной полосе МТА обычно движется на относительно низких скоростях, чтобы избежать ситуации недостаточной поворачиваемости. При таком допущении состояние системы будет иметь незначительные изменения в процессе поворота, поскольку динамика МТА может быть несколько ограничена. В кинематической модели МТА будем предполагать, что шины колес движутся в том направлении, в котором они повернуты. Кроме того, реакция сельскохозяйственного трактора на рулевое управление будет определяться только геометрическими параметрами.

Рассмотрим модель криволинейного движения МТА на разворотной полосе сельскохозяйственного участка.

Используя уравнения Лагранжа второго рода, можно рассмотреть закономерности движения МТА,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия;

q_i – обобщенные координаты;

$\dot{q}_i$ – производные от обобщенных координат по времени;

Q_i – обобщенные силы.

Применительно к рассматриваемому случаю криволинейного перемещения МТА: координата x , переменная поперечная координата y , а также угол расположения продольной оси МТА относительно оси ОХ. Тогда для криволинейного движения МТА



на разворотной полосе уравнения Лагранжа второго рода в декартовой системе координат могут быть записаны в виде системы (2) из трех дифференциальных уравнений второго порядка с тремя неизвестными.

$$\begin{cases} m(\ddot{x} + l_1 \cos \beta \dot{\beta}^2 + l_1 \sin \beta \ddot{\beta}) = \sum_{i=1}^2 (P_{ki} - P_{fi}) \cos(\beta + \alpha) + \sum_{i=3}^4 (P_{ki} - P_{fi}) \cos \beta + \\ + \sum_{i=1}^2 P_{\delta i} \sin(\beta + \alpha) + \sum_{i=3}^4 P_{\delta i} \sin \beta - P_{kp} \cos(\beta - \alpha), \\ m(\ddot{y} + l_1 \sin \beta \dot{\beta}^2 - l_1 \cos \beta \ddot{\beta}) = \sum_{i=1}^2 (P_{ki} - P_{fi}) \sin(\beta + \alpha) + \sum_{i=3}^4 (P_{ki} - P_{fi}) \sin \beta + \\ + \sum_{i=1}^2 P_{\delta i} \cos(\beta + \alpha) - \sum_{i=3}^4 P_{\delta i} \cos \beta + P_{kp} \sin(\beta - \alpha), \\ m(\ddot{x} + l_1 \cos \beta \dot{\beta}^2 + l_1 \sin \beta \ddot{\beta}) l_1 \sin \beta + (\ddot{x} + l_1 \sin \beta \dot{\beta}^2) l_1 \cos \beta (\dot{\beta} - (\dot{\beta})^2) + \\ + m(\ddot{y} + l_1 \sin \beta \dot{\beta}^2 - l_1 \cos \beta \ddot{\beta}) (-l_1 \cos \beta) + (\ddot{y} - l_1 \cos \beta \dot{\beta}^2) l_1 \sin \beta (\dot{\beta} - (\dot{\beta})^2) + \\ + l \ddot{\beta} = \sum_{i=1}^2 l_1 (P_{ki} - P_{fi}) \sin \alpha - \sum_{i=1}^2 l_1 P_{\delta i} \cos \alpha - \sum_{i=3}^4 (P_{ki} - P_{fi}) \frac{B_1}{2} - \\ - \sum_{i=3}^4 (P_{ki} - P_{fi}) \frac{B}{2} - \sum_{i=3}^4 l_2 P_{\delta i} - (l_{kp} + l_2) P_{kp} \sin \gamma - M_c, \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса МТА;

l_1 – расстояние от передней оси до центра тяжести МТА, l_2 – расстояние от задней оси до центра тяжести МТА;

α и β – углы наклона МТА;

P_{kp} – крюковое усилие;

P_f – сила сопротивления качению колес;

B – колея колес,

l_{kp} – расстояние от задней оси до сцепного устройства;

M_c – момент силы сопротивления повороту.

Для нашего случая в качестве одного из оптимизируемых параметров, при решении системы уравнений (2), будет выступать ширина разворот-

ной полосы. Поскольку предлагаемый игольчатый поворот – это обычный вид поворота для реверсивного способа движения, при котором минимальный радиус поворота МТА определяет длину пути. Повышение эффективности использования всей площади сельскохозяйственного участка требует максимального сужения поворотной полосы, а это, в свою очередь, затрудняет разворот МТА при выходе на следующий гон. Поэтому решения системы (2), определяющие семейство «игольчатых разворотов», будут постоянно ограничены.

В качестве основного ограничителя тут выступает невозможность уменьшить радиус разворота техники, а, следовательно, увеличить кривизну траектории, что превращает траекторию в набор сопряженных дуг окружности.

Однако, несмотря на жестко заданные пределы изменения значения кривизны траектории МТА, остается возможность для получения достоверного результата варьировать интервалы, в которых можно осуществить «переключение» значения радиуса разворота на противоположное значение.

Результаты и обсуждение

Поскольку в исследовании выбрана модель для МТА, состоящего из минитрактора Уралец 224 и роторной косилки Н-17, примем фиксированные параметры этих машин. Задача оптимальных временных затрат на повороте МТА эквивалентна задаче о его кратчайшей траектории. Поскольку скорость будем считать постоянной, угол поворота является единственным управляющим параметром МТА.

Решим аналитическим методом задачу о кратчайшей траектории с постоянной скоростью с использованием геометрического представления поворотов МТА: симметричного, не симметричного и фасонного (фигурного) (рис. 2).

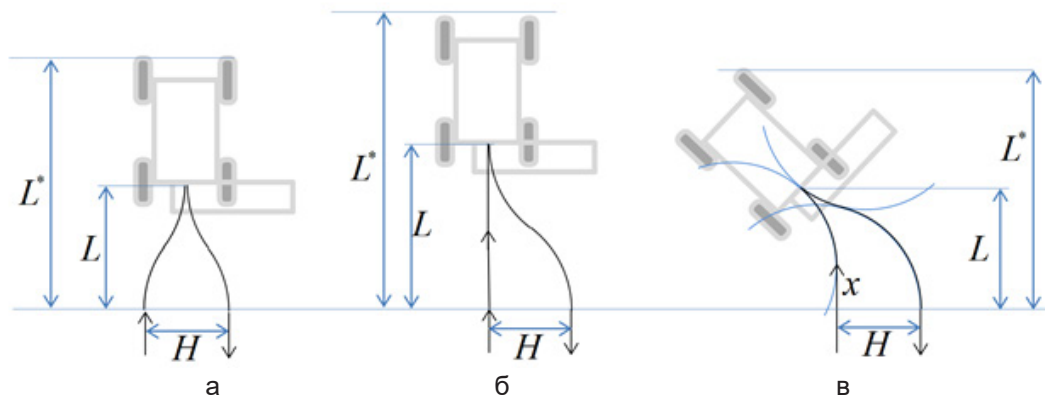


Рис. 2 – Схемы игольчатых поворотов при реверсивном движении МТА на поворотной полосе:

а – симметричный, б – не симметричный, в – фасонный

Fig. – Schemes of needle turns during reversible movement of MTA on the turning lane:

a – symmetrical, b – asymmetrical, c – shaped

Минимальный радиус поворота достигается за счет колесной базы и максимального угла поворота управляемых колес трактора:

$$R_{\min} = \frac{l}{\tan \theta}, \quad (3)$$

где l – колесная база трактора, м;

θ – максимальный угол поворота управляемых колес трактора, град.

Разобьём траекторию пути в процессе симметричного игольчатого поворота на этапы. Четыре «фазы» можно увидеть на схеме управления углом поворота рулевого колеса (рис. 2а). Трактор вначале поворачивает вправо, затем поворачивает



влево, далее выполняет симметричные действия, совершая поворот в форме «иглы», и завершает трек. Таким образом, траектория поворота состоит из четырех дуг окружности, соответствующих углу γ для минимального радиуса разворота R . Тогда минимальное расстояние от границы разворотной полосы до задней навески трактора будет определяться выражением:

$$L = 2R \sin \gamma, \quad (4)$$

где L – минимальное расстояние от границы разворотной полосы до задней навески МТА, м;

γ – угол, соответствующий дуге, лежащей на окружности минимального радиуса поворота МТА, град.

При этом выполняется условие согласно схеме (рис. 2а):

$$R(1 - \cos \gamma) = \frac{H}{4}, \quad (5)$$

где H – расстояние между смежными проходами, м.

В итоге получим выражение:

$$L = 2R \sqrt{1 - \left(1 - \frac{H}{4R}\right)^2}. \quad (6)$$

Общая траектория симметричного игольчатого поворота имеет длину

$$S = 4R \gamma, \quad (7)$$

Принимая во внимание геометрические размеры МТА, задаем входящие параметры: минимальный радиус разворота 4 м, расстояние между смежными проходами с минимальным перекрытием 1,3 м. По результатам расчета минимальное расстояние от границы разворотной полосы до задней навески трактора при симметричном игольчатом повороте составит 3,16 м, центральный угол – 23°, общая длина пути – 6,49 м.

На второй схеме (рис. 2б) траектория не симметричного поворота состоит из прямой и двух дуг окружности, соответствующих центральному углу γ (во втором случае он равен 33°).

При этом выполняется условие согласно схеме (рис. 2б):

$$R(1 - \cos \gamma) = \frac{H}{2}. \quad (8)$$

В итоге получим выражение:

$$L = 2R \sqrt{1 - \left(1 - \frac{H}{2R}\right)^2}. \quad (9)$$

Принимая во внимание геометрические размеры МТА, получим минимальное расстояние от границы разворотной полосы до задней навески трактора при не симметричном игольчатом повороте – 4,37 м, общая длина пути – 8,97 м.

Рассмотрим далее некоторый частный случай (рис. 2в), когда трактор начинает поворот после того, как проехал по прямой некоторое расстояние x , при этом общий путь складывается из четырех слагаемых

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4. \quad (10)$$

где S_1 – часть пути МТА, определяемая прямолинейным движением, м;

S_2 – часть пути МТА, определяемая при по-

вороте налево, м;

S_3 – часть пути МТА, определяемая при повороте направо, м;

S_4 – часть пути МТА, определяемая при повороте снова налево, м.

Из расчетной схемы (рис. 3) фасонного игольчатого поворота МТА можем записать

$$z = \sqrt{x^2 + H^2} \quad (11)$$

$$h = \sqrt{(2R)^2 - \left(\frac{z}{2}\right)^2}. \quad (12)$$

$$h = \sqrt{4R^2 - \frac{x^2 + H^2}{2}} \quad (13)$$

$$\sin \delta = \frac{z}{4R}. \quad (14)$$

где x – расстояние, пройденное при прямолинейном движении, м; α и δ – расчетные углы, град.

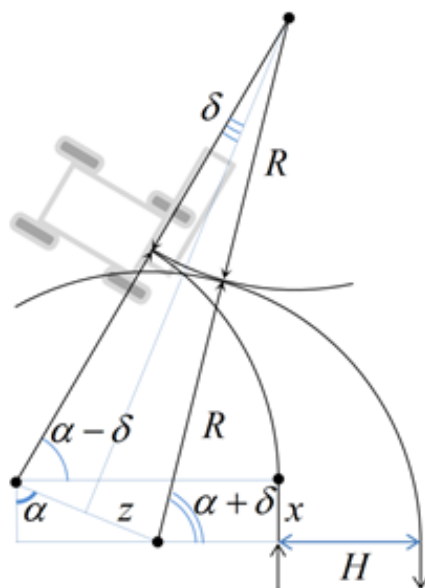


Рис. 3 – Расчетная схема фасонного игольчатого поворота МТА на поворотной полосе

Fig. 3 – Calculation scheme of the shaped needle turn of the MTA on the headland

Найдем выражение для пути фасонного игольчатого поворота на поворотной полосе:

$$\begin{aligned} S(x) &= x + R(\alpha - \delta) + R(2\delta) + R(\alpha + \delta) = \\ &= x + 2R(\alpha + \delta). \end{aligned} \quad (15)$$

После преобразований по формулам (9), (10) и (11) получаем, что общий путь является функцией от x :

$$S(x) = x + 2R \left(\arctg \frac{H}{x} + \arcsin \frac{\sqrt{x^2 + H^2}}{4R} \right) \quad (16)$$

Аналогично, используя те же формулы, определяем ширину разворотной полосы как функцию от x :

$$L(x) = x + R \sin \left(\arctg \frac{H}{x} - \arcsin \frac{\sqrt{x^2 + H^2}}{4R} \right). \quad (17)$$



Найдем производные от функций $S(x)$ и $L(x)$ по переменной x :

$$S'_x = 1 + 2R \left(-\frac{H}{x^2 + H^2} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + H^2} \sqrt{16R^2 - (x^2 + H^2)}} \right), \quad (18)$$

$$L'_x = 1 - R \left(\frac{H}{x^2 + H^2} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + H^2} \sqrt{16R^2 - (x^2 + H^2)}} \right) \times \cos \left(\arcsin \frac{\sqrt{x^2 + H^2}}{4R} - \arctg \frac{H}{x} \right). \quad (19)$$

Приравниваем выражения (18) и (19) к нулю для нахождения экстремальных точек. Графики функций $S(x)$ и $L(x)$, с найденными точками минимумов, представлены на рисунке 4.

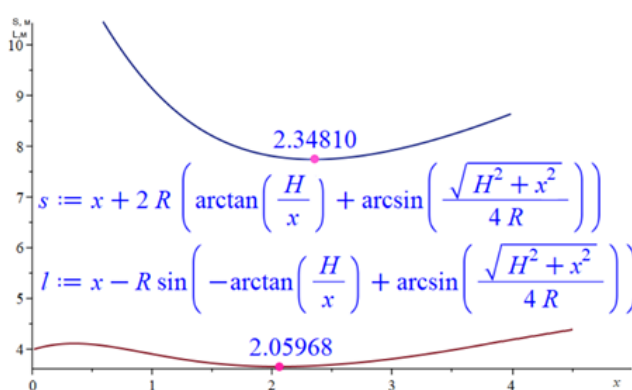


Рис. 4 – Графики функций $S(x)$ и $L(x)$
Fig. 4 – Graphs of functions $S(x)$ and $L(x)$

Таким образом, анализ функций на экстремум показывает, что они обе имеют минимумы (причем различные), которые численно определяются при подстановке реальных значений $H=1,3$ м и $R=4$ м, соответствующих рассматриваемому случаю. В итоге получаем минимальное значение пути на разворотной полосе $S(2,35) \approx 7,74$ м; сама разворотная полоса при этом составляет $L(2,35) \approx 3,67$ м. Если же минимизируется не путь, а ширина разворотной полосы, то имеем $S(2,06) \approx 7,78$ м; сама разворотная полоса при этом составляет $L(2,06) \approx 3,65$ м. Как видим, в данном случае, различия практически не существенны и x может быть выбрана из интервала 2,06 м - 2,35 м.

Выводы

В статье исследована возможность использования методов оптимизации для решения задачи короткого поворота в ограниченных условиях поворотной полосы. Рассмотрены дифференциальные уравнения Лагранжа второго рода для криволинейного движения МТА на разворотной полосе в декартовой системе. Разработаны кинематические модели МТА с роторной косилкой и сформулированы проблемы оптимизации поворота на поворотной полосе путем включения его модели и учета эксплуатационных ограничений. Рассматривая широкий выбор сценариев поворота на поворотной полосе при реверсивном движении – от

симметричного до несимметричного игольчатого поворота – был выбран оптимальный способ для МТА с роторной косилкой. Благодаря интеграции модели МТА и реализации процесса оптимизации на сельскохозяйственном участке был получен альтернативный вариант – фасонный поворот с определенными параметрами и проиллюстрирован для заданных условий эксплуатации. Аналитические исследования автоматизированного сельскохозяйственного МТА с косилкой (принятые характеристики минитрактора Уралец 224 и роторной косилки Н-17) показали, что значения эксплуатационных и геометрических показателей для фасонного поворота укладываются в минимальную ширину разворота – 3,65 м и длину пути – 7,74 м. Рассмотрение вопросов оптимизации процессов управления МТА позволит решать проблемы формирования парка сельскохозяйственных тракторов [15] и повысить уровень интеллектуальных технологий точного земледелия [16].

Список источников

1. Tu X., Tang L. Headland turning optimisation for agricultural vehicles and those with towed implements // Journal of Agriculture and Food Research. 2019. 1. 100009. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100009>.
2. Ненайденко А.С., Поддубный В.И., Валежанин А.И. Моделирование управления движением колесной сельскохозяйственной машины в режиме реального времени // Тракторы и сельхозмашины. 2018. №3. С. 32-38. EDN: XSEMKD.
3. Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Беспилотное мобильное энергосредство сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2016. N 10. С. 41-44. EDN: WWHVXJ.
4. Oksanen T., Visala A. Optimal Control of Tractor-Trailer System in Headlands. ASABE Paper No. 701P1004 // ASABE, St. Joseph, MI. 2004. <https://doi.org/10.13031/2013.17842>.
5. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. №4. С. 63-68. EDN: GBEQZJ.
6. Geraerts R., Overmars M. Creating high-quality paths for motion planning // Int. J. Robot. Res. 2007. 26, p. 845, <https://doi.org/10.1177/0278364907079280>.
7. Luna R., Sucan I., Moll M., Kavraki L. Anytime solution optimization for sampling-based motion planning // Proc. 2013 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation 2013. pp. 5068-5074, <https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6631301>.
8. Otte M., Frazzoli E. RRTX: asymptotically optimal single-query sampling-based motion planning with quick replanning // Int. J. Robot. Res. 2016. 35(7). pp. 797-822.
9. Cariou C., Gobor Z., Seiferth B. Mobile robot trajectory planning under kinematic and dynamic constraints for partial and full field coverage // J. Field Robot. 2016. 34 (7). P1297-1312 (2017).
10. Васильев С. А., Васильев А. А., Затылков Н. И. Противозероизонная контурная обработка почвы машинно-тракторными агрегатами на агро-



ландшафтах склоновых земель // Вестник НГИЭИ. 2018. № 5 (84). С. 43-54. EDN: XNDFZR.

11. Васильев С.А., Лопоткин А.М., Васильев А.А. Разработка математической модели технологического процесса обработки склоновых земель противоэрозионным орудием // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 334-344. EDN: EYUPEA.

12. Conway B.A. A survey of methods available for the numerical optimization of continuous dynamic systems // J. Optim. Theory Appl. 2012. 152 (2). pp. 271-306, <https://doi.org/10.1007/s10957-011-9918-z>.

13. Fahroo F., Ross I.M. Direct trajectory optimization by a Chebyshev pseudospectral method // J. Guid. Control Dyn. 2002. 25 (1). pp. 160-166.

<https://doi.org/10.2514/2.4862>.

14. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Хорошенков В. К. [и др.] Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 3. С. 4-11. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN UUULOB.

15. Кряжков В. М., Годжаев З. А., Шевцов В. Г. [и др.] Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 9-14. EDN: TTLVRR.

16. Васильев С.А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. №3. С. 36-41. EDN: ZGGQUG.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Tu X., Tang L. Headland turning optimisation for agricultural vehicles and those with towed implements // Journal of Agriculture and Food Research. 2019. 1. 100009. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100009>.

2. Nenaydenko A.S., Poddubnyy V.I., Valekzhanin A.I. Modelirovaniye upravleniya dvizheniyem kolesnoy sel'skokhozyaystvennoy mashiny v rezhime real'nogo vremeni // Traktory i sel'khosmashiny. 2018. №3. С. 32-38. EDN: XSEMKD.

3. Godzhayev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Bespilotnoye mobil'noye energosredstvo sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya // Traktory i sel'khosmashiny. 2016. N 10. С. 41-44. EDN: WWHVXJ.

4. Oksanen T., Visala A. Optimal Control of Tractor-Trailer System in Headlands. ASABE Paper No. 701P1004 // ASABE, St. Joseph, MI. 2004. <https://doi.org/10.13031/2013.17842>.

5. Izmaylov A.YU., Lobachevskiy YA.P., Tsench YU.S. i dr. O sinteze robotizirovannogo sel'skokhozyaystvennogo mobil'nogo agregata // Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2019. №4. С. 63-68. EDN: GBEQZI.

6. Geraerts R., Overmars M. Creating high-quality paths for motion planning // Int. J. Robot. Res. 2007. 26, p. 845, <https://doi.org/10.1177/0278364907079280>.

7. Luna R., Sucan I., Moll M., Kavraki L. Anytime solution optimization for sampling-based motion planning // Proc. 2013 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation 2013. pp. 5068-5074, <https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6631301>.

8. Otte M., Frazzoli E. RRTX: asymptotically optimal single-query sampling-based motion planning with quick replanning // Int. J. Robot. Res. 2016. 35(7). pp. 797-822.

9. Cariou C., Gobor Z., Seifert B. Mobile robot trajectory planning under kinematic and dynamic constraints for partial and full field coverage // J. Field Robot. 2016. 34 (7). P1297-1312 (2017).

10. Vasil'yev S. A., Vasil'yev A. A., Zatytkov N. I. Protivoerozionnaya konturnaya obrabotka pochvy mashinno-traktornymi agregatami na agrolandshaftakh sklonovykh zemel' // Vestnik NGIEI. 2018. № 5 (84). С. 43-54. EDN: XNDFZR.

11. Vasil'yev S.A., Lopotkin A.M., Vasil'yev A.A. Razrabotka matematicheskoy modeli tekhnologicheskogo protsesssa obrabotki sklonovykh zemel' protivooerozionnym orudiyem // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2021. № 4 (64). С. 334-344. EDN: EYUPEA.

12. Conway B.A. A survey of methods available for the numerical optimization of continuous dynamic systems // J. Optim. Theory Appl. 2012. 152 (2). pp. 271-306, <https://doi.org/10.1007/s10957-011-9918-z>.

13. Fahroo F., Ross I.M. Direct trajectory optimization by a Chebyshev pseudospectral method // J. Guid. Control Dyn. 2002. 25 (1). pp. 160-166. <https://doi.org/10.2514/2.4862>.

14. Izmaylov A. YU., Lobachevskiy YA. P., Khoroshenkov V. K. [i dr.] Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v rasteniyevodstve // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2018. T. 12, № 3. С. 4-11. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN UUULOB.

15. Kryazhkov V. M., Godzhayev Z. A., Shevtsov V. G. [i dr.] Problemy formirovaniya innovatsionnogo parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2015. № 3. С. 9-14. EDN: TTLVRR.

16. Vasil'yev S.A. Intellektual'naya tekhnologiya kontrolya kachestva obrabotki pochvy v sisteme tochnogo zemledeliya // Zemledeliye. 2022. №3. С. 36-41. EDN: ZGGQUG.



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

Васильев Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, зав. кафедрой робототехники и прикладной механики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»; профессор кафедры технического обслуживания, организации перевозок и управления на транспорте, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», vsa_21@mail.ru

Годжаев Захид Адыгезалович, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, зам. директора, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, fic51@mail.ru

Мишин Сергей Александрович, старший преподаватель кафедры робототехники и прикладной механики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», ipers.ya@yandex.ru

Алексеев Виктор Васильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», av77@list.ru

Бачурин Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», bachurin62@mail.ru

Author Information

Vasiliev Sergey A., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Robotics and Applied Mechanics, Chuvash State University Named after I. N. Ulyanov; Professor of the Department of Technical Maintenance, Transportation Organization and Transport Management, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, vsa_21@mail.ru

Godzhaev Zakhid A., Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, fic51@mail.ru

Mishin Sergey A., Senior Lecturer, Department of Robotics and Applied Mechanics, Chuvash State University Named after I.N. Ulyanov, ipers.ya@yandex.ru;

Alekseyev Viktor V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Physics, Chuvash State University Named after I.N. Ulyanov, av77@list.ru

Bachurin Alexey N., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Operation of Machine-Tractor Fleet, Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, bachurin62@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 18.04.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 004.724.4/631.152.2
DOI: 10.36508/RSATU.2025.41.65.009

**О ПРОБЛЕМАХ В ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИИ АПК И ПОДХОДАХ К ИХ СЕТЕВОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ
ДЛЯ ЗАДАЧ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМУ ЕДИНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Александр Викторович Грачев¹✉, Евгений Николаевич Неверов², Алена Константиновна Горелкина³, Алексей Михайлович Осинцев⁴

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия;

^{2,3,4} ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия

¹ alengora@yandex.ru

² neverov42@mail.ru

³ grachev_av@list.ru

⁴ osintsev@kemtipp.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В статье описаны основные тенденции в области современного вектора развития систем энергоснабжения и вектор подходов к управлению энергооборудованием на примере объектов предприятия АПК. Отмечены существующие подходы к их автоматизации и общее текущее состояние этих объектов. Акцент сориентирован на совместимость (интеграцию) и современные подходы к применению средств интеллектуального управления в задачах укрепления сетевыми структурами, реализуемыми как управляющий контур сетевых структур инфраструктурного обеспечения предприятий.

Методология. В предложенном подходе рассматривается вектор развития подходов к проектированию или модернизации существующей инфраструктуры энергоснабжения предприятия с интеграцией их в единую сетевую структуру на базе вычислительных сетей и с использованием подходов, характерных для пользовательских сетей сферы ИТ для создания устойчивого единого контура управления всей инфраструктурой. Для развития решений в данном векторе задач предполагается использование сетевых технологий для управления полученными в результате работ сетевыми структурами. Описаны существующие тенденции развития системного подхода к управлению сетями энергоснабжения на примере отрасли АПК, как имеющей достаточно явные точки, требующие серьезных изменений не только в качестве внедрения систем оперативного укрепления, но и для поддержания нормальных условий работы.

Результаты. Поэтому задача выбора точек сбора статистики для формирования модели машинного обучения может быть решена с определением тех элементов и устройств, собираемые данные с которых могут быть получены в достаточном количестве. При этом задача оценки качества данных является следующей по важности на начальных этапах разработки проекта автоматизации объектов сетей энергоснабжения с помощью методов машинного обучения.

Заключение. Учитывая существующие на данный момент тенденции повсеместного внедрения интеллектуальных систем управления, упор делается на определение вероятных векторов развития данных подходов. Актуальность задачи сетевой автоматизации обусловлена возрастающими тенденциями по внедрению средств интеллектуального управления в различные отрасли, с целью обеспечения бесперебойной работы электрооборудования.

Ключевые слова: нейронные сети, статистика, прогнозирование, модели

Для цитирования: Грачев А.В., Неверов Е.Н., Горелкина А.К., Осинцев А.М. О проблемах в электрообеспечении АПК и подходах к их сетевой автоматизации для задач интеграции в систему единого управления // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 58-66 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.41.65.009>



ABOUT PROBLEMS IN THE ELECTRICAL SUPPLY OF AGRICULTURAL ENTERPRISES AND APPROACHES TO THEIR NETWORK AUTOMATION FOR INTEGRATION INTO A UNIFIED MANAGEMENT SYSTEM

Alexander V. Grachev¹✉, Evgeny N. Neverov², Alyona K. Gorelkina³, Alexey M. Osintsev⁴

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

^{2,3,4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ alengora@yandex.ru

² neverov42@mail.ru

³ grachev_av@list.ru

⁴ osintsev@kemtipp.ru

Abstract.

Problem and purpose. The article describes the main trends in the field of the modern vector of development of energy supply systems and the vector of approaches to energy equipment management using the example of agricultural enterprises. The existing approaches to their automation and the general current state of these facilities are noted. The emphasis is on compatibility (integration) and modern approaches to the use of intelligent management tools in the tasks of strengthening network structures implemented as a control loop of network structures of infrastructure support for enterprises.

Methodology. The proposed approach considers the vector of development of approaches to the design or modernization of the existing energy supply infrastructure of an enterprise with their integration into a single network structure based on computer networks and using an approach typical of user networks in the IT sector to create a stable unified management contour for the entire infrastructure. To develop solutions in this vector of tasks, it is assumed that network technologies will be used to manage the resulting network structures. The existing trends in the development of a systematic approach to energy supply network management are described using the example of the agro-industrial complex industry as having fairly obvious points that require major changes not only in the quality of operational strengthening systems, but also to maintain normal working conditions.

Results. Therefore, the problem of selecting statistical collection points for forming a machine learning model can be solved by identifying those elements and devices from which the collected data can be obtained in sufficient quantity. At the same time, the task of assessing data quality is the next most important in the initial stages of developing a project for automating power supply facilities using machine learning methods.

Conclusion. I take into account the current trends in the widespread introduction of intelligent management systems, the emphasis is on determining the likely development vectors of these campaigns. The urgency of the task of network automation is due to the increasing trends in the introduction of intelligent control tools in various industries in order to ensure the smooth operation of electrical equipment.

Key words: neural networks, statistics, forecasting, models

For citation: Grachev A.V., Neverov E.N., Gorelkina A.K., Osintsev A.M. About problems in the electrical supply of agricultural enterprises and approaches to their network automation for integration into a unified management system // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 58-66 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.41.65.009>

Введение

Внедряемые цифровые системы управления ориентированы на оперативное реагирование при изменении условий для корректной работы контроллеров и механизмов электрооборудования, и должны учитывать возможные последствия от поступления недостоверных данных от электро-технических элементов. [1-3]

Актуальной является задача определения источников сбора статистики для решения задач автоматизации. Применение любой системы управления сетевой технической системой в современных условиях должно учитывать специфику работы небольших хозяйств. Текущие проблемы в электрообеспечении АПК, связанные с объектами промышленного процесса и внедрением средств автоматизации, можно выделить в

ряд задач:

- задачи управления сетями энергоснабжения, особенно обособленными или удалёнными объектами

- задачи, связанные с внедрением средств информатизации и сбора данных и управления информацией

- задачи, связанные с использованием внешних источников энергии

- задачи, связанные с использованием беспилотной техники.

- задачи, связанные с внедрением системы обеспечения общего документооборота, стандартизации и обеспечения сертификации.

Целью статьи является определение направления развития системного подхода в задачах проектирования решений или модернизации су-



существующих решений (инфраструктуры) предприятий с использованием сетевых структур и на примере сетей энергоснабжения объектов АПК.

Отрасль энергоснабжения по своей сути – это часто «догоняющая» отрасль, которая состоит из использования уже существующих подходов и технологий. Поэтому сложно ожидать от отрасли передовых подходов. В то же время почти всегда внедряются наиболее доступные решения, исходящие из методологического и экономического обоснований. То есть те технологии, которые не требуют высокой квалификации и больших затрат доступных ресурсов на внедрение. Отчасти такой подход имеет положительный аспект для обстоятельного выбора реализуемого метода из суще-

ствующего спектра доступных решений.

Исходя из принятых методов управления автоматизированными системами, оператор (в качестве которого может выступать как отраслевой специалист, так и автоматизированная система (АС)) должен на принятом уровне поддерживать работоспособность оборудования, исходя из данных о его состоянии. В существующей уровневой классификации типа SAE 6 уровней автоматизации представленные в таблице 1, используются при проектировании процесса управления (Levels of Driving Automation) [3]. Применяя эти уровни как основу, можно скорректировать их для применения к иному объекту, например, энергоснабжению.

Таблица 1 – Разделение по уровням на основе SAE J3016

Уровень	Краткое описание
1	Контроль специалистом аналоговых систем.
2	Контроль и управление специалистом с помощью АС заранее заданных параметров в рамках допустимых границ работы.
3	Управление специалистом с помощью АС второстепенным процессом в границах и на основе данных с датчиков рабочего пространства.
4	Ограниченное управление с помощью АС автономного процесса на объекте.
5	АС с возможностью без оперативной команды специалиста автономного управления работой объекта в заранее заданных границах.
6	Управление без любого вмешательства специалиста со стороны полностью автономной АС.

Материалы и методы исследования

Внедряемые цифровые системы управления ориентированы на должное оперативное реагирование при изменении условий для корректной работы контроллеров и механизмов электрооборудования, и должны учитывать возможные последствия от поступления недостоверных данных от электротехнических элементов. [2] И по своей наполненности решать далее описанные задачи в целом или высypаться инструментарием решения.

Задача обеспечения энергоснабжения. Проблемой эксплуатации сети управления в области электроснабжения является вопрос снижения эксплуатационных потерь при передаче электроэнергии в сетях снабжения. Потери при прочих равных условиях можно оценить в 10-15 %. Но касаясь все еще распространенных сетей 0,4 кВ потери при передаче по таким сетям оцениваются до 50 % [4, 5]. Поэтому развитие систем управления сетями передачи и учёта электроэнергии, с применением схем интеллектуального мониторинга работы сетей передачи энергии, достаточно актуально [6-10]. При этом в существующих практиках не учитываются аспекты практического внедрения и другие ограничения. Примером такого аспекта можно считать необходимость автоматизации процесса поиска участков линий передачи с высоким процентом потерь.

Задача информационного контроля. Эксплуатационные требования к любым сетям (не только к сетям передачи энергии) все чаще внедряют в основной регламент. К ним можно отнести метод

автоматического и информационного контроля и управления, что, в свою очередь, ведет к повышению требований к надежности системы передачи данных и к методам по защите информации. Поэтому сам процесс разработки систем управления должен учитывать еще на этапе проектирования риски и включать в итоговый вариант систему методов и способов защиты и обнаружения несанкционированного воздействия на системы управления сетью электрооборудования и объектов электроэнергетики. [12, 14], Прототипом таких подходов могут служить подходы, характерные для обеспечения защищенности информационных сетей предприятий или иных цифровых сетей управления технологическим процессом.

Задача внешних и автономных источников питания. Тенденции таковы, что использование внешних автономных источников питания переходит из раздела специальной техники для «нестандартных» условий эксплуатации в раздел общепринятых методик построения технологических систем производства. [11, 12] Система управления и баланса сети энергоснабжения должна учитывать вопросы сопряжения с магистральными сетями, утилизацию и перенаправление избыточных киловатт. Сам фактор наличия автономного источника – это причина «сегментного» разделения единой сети энергоснабжения, т.е. появления локальных «сот», где автономный источник становится центром обособленного снабжения части ближайших потребителей, и при этом параметры передаваемого электричества чаще всего сильно отличаются от нормативных для данной мест-



ности, что требует дополнительных технических усилий по мониторингу и управлению подобными «островками». Удаленное управление оборудованием таких сетей, управление подключением потребителей и системное управление всей инженерной сетью в целях её интегрированности в районную хозяйственную деятельность [13, 14] влечет за собой либо увеличение штата специалистов для обеспечения управляемости, либо внедрение систем автоматизации более высокого ранга (пункты 4-6 в таблице 1).

Задача использования и контроля беспилотной техники. Возрастающая популярность подстегнула развитие беспилотных технологий. Такая традиционная отрасль как энергоснабжение в АПК не стала флагманом внедрения БПЛА. В ней чаще всего признаются уже готовые решения для задач мониторинга. Задачей основных исследований является обеспечение зарядки внешних аккумуляторов энергии, в том числе и «в поле». Учитывая тенденции с осторожностью можно спрогнозировать, что развитие пойдет в сторону внедрения готовых решений из других отраслей и их адаптация для нужд энергосетей и задач АПК.

Задача общей цифровизации. Использование цифровых технологий и автоматизированного оборудования требует наличия сетей передачи данных. Поэтому следует говорить о задачах исследования предиктивного и автоматизированного (минимум до 4-5 уровня из таблицы 1) управления сетями энергоснабжения, адаптивных способах регулирования напряжения, создания прикладных технико-экономических решений для обеспечения качества работы.

Данные стандарты должны системно охватывать регламенты работы сетей энергообеспечения АПК, управление блоками внешних источников энергии, адаптировать вероятные новые технологии в свою структуру и учитывать (интегрировать) возникновение локально обособленных малых энергосетей. Эти исследования в большинстве своем все еще имеют более теоретическую составляющую, чем практические решения.

Методология решения.

Ранее было предложено использовать вектор развития современных технологий как базы для универсального инструментария с целью реализации управляющих контуров. Схема модели технического объекта в общем виде с точками постоянного присутствия воздействий представлена на рисунке 1.

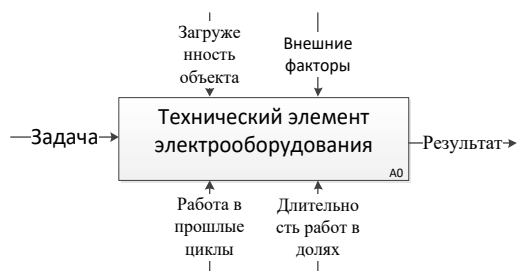


Рис. 1 – Схема объекта в общем виде

Fig. 1 – General diagram of the object

Данные источники представят собой комплекс-

ные воздействия, чаще всего требующие предварительного внедрения определённой метрики для представления данных об их работе в численном виде.

Определение объектов, требующих автоматизации, которая может быть разработана с применением МО. Вопреки радужным перспективам далеко не всегда автоматизация технологического процесса как таковая требуется для дальнейшей работы объекта. Жизненный цикл работы оборудования цифрового управления на предприятиях АПК, как объектах отрасли, в подавляющем большинстве своем не является источником научных знаний в области информационных технологий. Пик современных исследований в ИТ направлен на повсеместное внедрение элементов машинного обучения, нейросетей и псевдоискусственного интеллекта. Практически же удачные решения в одной области совсем не гарантия их такого же успешного применения в другой.

Общие проблемы восприятия задач цифровизации агентами, их эксплуатирующими. Нужно определить, когда стоит следовать тенденциям и внедрять элементы машинного обучения для решения, а когда данный метод будет скорее избыточен. Машинное обучение (МО) – достаточно эффективный способ решения задач. Однако, прежде чем его применять, следует определить доступное окружение, в котором предполагается внедрить решения на базе МО. Возможность применения МО имеет большой потенциал, но в то же время при его применении должны быть учтены следующие аспекты.

Когда не следует использовать машинное обучение. Не стоит забывать, что далеко не все потребности в задачах управления и автоматизации в сетях любого производственного объекта можно решить с помощью машинного обучения. Нередки ситуации, когда даже при наличии подробной статистики не удаётся «обучить» модель МО, и проект резко скатывается в долгострой с неясными перспективами. Вероятно даже, что модель вообще не имеет возможности получить достаточной процент успешных ответов. Такое состояние трудно предсказать на этапе разработки проекта. Скорее всего, проект МО не даст результат когда:

а) событие в системе или его результат можно объяснить;

б) изменённое событие и результат его поведения в системе по сравнению с начальным при равных условиях можно объяснить;

в) стоимость устранения последствий в результате ошибки автоматизированной системы слишком высока;

г) сроки реализации проекта МО жестко ограничены и без возможности продления;

д) получение достаточного набора проверенных (верифицированных) данных слишком сильно затруднено;

е) поставленная задача решается традиционными и устоявшимися методами разработки программных комплексов (так называемые «best practices»);



ё) обычный эвристический метод дает приемлемый результат;

ж) процесс даже на этапе описания уже подразумевает сложности в оценке количества вероятных исходов и вариантов принимаемых решений, из-за чего трудность задачи получения набора данных и определения его достаточного размера возрастает;

з) проект предполагает создание конечного продукта без дальнейшей модернизации.

Кроме того, может быть, процесс удастся описать приемлемой по размеру матрицей вероятных исходов на каждое входное значение (когда число возможных входных состояний невелико), и для поставленной цели достаточно будет интегрировать систему с существующей инфраструктурой предприятия. Например, соединить систему управления сетями с базой данных системы планирования ресурсов предприятия (ERP) и управления производственными процессами (MES), что позволит не только централизованно собирать данные и обрабатывать их, но и на их основе принимать управляющие решения.

Вероятная постановка задачи для систем электрообеспечение АПК и подходов к их сетевой автоматизации. Следует понимать, что модель МО, нейросеть и т.д. – это, прежде всего, агент системы автоматизации, оказывающий некоторое управляющее воздействие на основе результатов работы алгоритма. Искусственные нейросети чаще всего справятся с задачей, которая похожа на уже ранее решенные. Смысл нейросети состоит в том, чтобы решать задачи, которые может решить человек, сняв с него рутинные операции. И для этого необходимо «обучить» (настроить) нейросеть на основе достаточного набора данных. Задача решаема, если:

- профильный специалист четко обозначил критерии, сформулировал задачу с нужной точностью, определил условия её работы;

- есть данные о ранее успешно решенных аналогичных задачах со схожими условиями и использованными методами.

Задача более сложна, но все еще остаётся решаемой когда:

- размер модели учитывает то количество данных, которое модель призвана обработать. Это зависит от набора входных-выходных данных. Исходя из практики, разработчики часто не имеют доступ к мощным ЭВМ, что может быть объявлено как ограничение: задача решаема, если при доступном объёме входных-выходных данных она может быть решена с помощью обычной рабочей станции АРМ, или нескольких таковых;

- имеется набор данных нужного контекста. Контекст – это любые данные, которые можно связать с объективной информацией при анализе по заранее определённым критериям и параметрам. Для учета данного ограничения в составе контекста следует достаточно точно описать предметную область.

Результаты исследований и их обсуждение

Определение предметной области в контексте постановки задачи следует описать как подход к формированию шаблона в общем виде для зада-

чи МО. Примем за A некий проект по машинному обучению с N набором узлов (устройств, объектов, агентов). Примем область n -го устройства через Λ_n а общее множество состояний устройств как $\Lambda = \Lambda_1 \times \Lambda_2 \times \dots \times \Lambda_N$. Множество (вектор) устройств обозначим как $\lambda \in \Lambda$, а проект A с его набором устройств, представленным в λ , обозначим как A_λ .

Набор устройств может быть измеряемым (например, скорость обработки), составным (например, количество устройств), булевым (например, иметь четко фиксируемых два состояния) или категориальным (например, выбор оптимума из некоторого набора). Для составных и измеряемых узлов (устройств) наборы в основном ограничены конкретными практическими моделями (устройств разных производителей), но и имеют некоторые исключения, например, являясь ноу-хау конкретной организации.

Кроме того, множество состояний может обладать условностью, т. е. одно устройство может быть использовано только в том случае, если другое устройство (или некоторая составная сеть) примет определенное значение (войдет в определённое состояние). Условные множества могут быть описаны в виде формы направленных ациклических графов. Такие условные множества возникают при разработке автоматической настройки при конвейеризации машинного обучения, когда выбор между различными проектами предварительной обработки и обучения учитывается моделью как категориальное состояние устройства. В рамках МО – это задача, известная как полный выбор модели (fullmodelselection, FMS).

Еще данные множества характерны при комбинированной задаче выбора проекта при условии приоритета (можно сказать, достаточно жесткой) оптимизации поддержания состояний устройств.

В рамках проекта МО они характерны для этапа оптимизации архитектуры нейронной сети: например, число слоев может быть составным на основе результатов обработки данных определённого (эталонного) устройства. А множество данных устройств при каждой итерации актуально только в том случае, если количество промежуточных этапов отработки алгоритма модели (для глубокого обучения, например) не меньше чем количество устройств во множестве. Тогда при заданном наборе данных D – цель в том, чтобы найти:

$$\lambda^* = \operatorname{argmin}_{\lambda \in \Lambda} E_{(D_{\text{train}}, D_{\text{valid}}) \sim D} V(L, A_\lambda, D_{\text{train}}, D_{\text{valid}}), \quad (1)$$

при $\lambda \in \Lambda$

где $V(L, A_\lambda, D_{\text{train}}, D_{\text{valid}})$, определяет потери модели для проекта A с сетью устройств λ на обучающих данных D_{train} и оцененной на проверочных данных D_{valid} . Практически это значит, что доступен только набор данных D . На практике доступ есть только к конечным данным $D \sim D$ и поэтому следует аппроксимировать математическое ожидание в формуле (1).

Вариантом проверки протокола $V(\cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$ может быть реализован способ через выделение проверочных данных, где ошибка при проведении перекрестной проверки для выбранной разработ-



чиком пользователем функции потерь [15].

Применяются несколько подходов для сокращения времени проведения оценки: можно проверить выбранные алгоритмы МО на подмножестве сверточных данных, только на подмножестве данных [16] или на небольшом количестве итераций.

При проведении многозадачной и многоисточниковой [17] задачи оптимизации могут быть применены дополнительные ресурсно малотребовательные задачи, которые можно использовать вместо формулы (1), но нет гарантий, что данный подход позволит обязательно обучать модель на доступном наборе данных.

Таким образом, для обеспечения возможности внедрения средств интеллектуального управления сетям энергоснабжения следует разобрать ряд взаимозависимых моментов. В основе это задача обработки данных о происходящем в распределенных сетях энергоснабжения и/или для обеспечения системы управляющего контроля необходимым набором данных требует учитывать зависимости от оценочного состояния работы технического элемента (узла электрооборудования) в сетевой структуре. Это необходимо для того чтобы управление сетью энергоснабжения не потеряло своей эффективности. Зависимости возникают на нескольких этапах, например:

– **данные активной работы технологического узла (или сегмента)**; это появление в распределенной сетевой структуре сети энергоснабжения отдельных элементов, их активная работа, исключение элементов (потребителей, домохозяйств, точек конечного потребления) т.е. постоянная изменяемость структуры всей подконтрольной сети и оперативный её контроль в момент времени;

– **данные, отражающие «похожие» оценки работы**, когда отдельные элементы сети энергоснабжения имеют схожие технические характеристики, но при этом их активная работа в сети может различаться, т.е. они могут работать при схожем состоянии при малой загруженности, но могут и не иметь схожих состояний («вести себя по-разному») во время нагруженной фазы, что может быть источником потерь;

– **данные и их контекст** – определенное состояние, когда, например, сеть энергоснабжения является активным техническим объектом, но для производственного процесса осуществляет только транспортные функции доставки электроэнергии на технические элементы. При этом генерирующая, распределительная или иные функции для производственного процесса незначительны, тогда параметры, позволяющие определить возможные критические сегменты, могут быть другими по сравнению с параметрами, оценивающими работу генерируемого сегмента. Или ситуация, когда производственные элементы технологического процесса являются непостоянными потребителями и не входят в изначальный проект сети энергоснабжения при её развёртывании.

Оценку текущего состояния предполагаемого объекта автоматизации для определения состава и этапов проекта МО в условиях работы распределенной сетевой структуры из различных техниче-

ских устройств (объектов, узлов), имеющих различающиеся характеристики и влияющих на сетевую структуру на этапе сегментов следует начинать с оценки вероятных точек сбора данных. Т.е. определить технологические объекты, которые при дальнейшей разработке проекта будут точками, где будет производиться сбор данных для дальнейшего использования их в задаче подготовки проекта МО.

Эту задачу можно определить как задачу поиска активного технологического элемента. В работе любого технологического процесса узлы сети энергоснабжения, и сегменты аккумуляторных накопителей, и узлы контроля сети, и беспилотная техника, и сервера сети документооборота – все они в процессе своей работы генерируют данные, которые и будут в дальнейшем использоваться. Этот набор данных и будет основой проекта А с сетью устройств λ на обучающих данных D_{train} и также набором проверочных данных D_{valid} .

Устройство λ можно определить по «вкладу» его в производственный процесс. Эти элементы могут быть выделены экспертом или же можно использовать оценочный расчет задач, который отразит диапазон возможных оценок нужного узла для определённой задачи. Тогда формула начального выбора технологического элемента в качестве источника данных будет иметь вид:

$$Dn = \frac{1}{n} \sum_{N=1}^N (Dp - Dt) \quad (2)$$

где: Dn – начальная оценка активного потока данных с устройства в момент его работы;

Dp – нормативная планка, обозначенная как нормальное текущее состояние работы технического элемента;

N – количество периодов замеров работы технических элементов данного типа, с которых узел получал данные;

n – количество технических элементов данного типа, с которых узел получал данные.

Примеры расчетов оценки доступности источников данных при решении задачи выбора точек снятия статистики для обеспечения наборами данных вероятного проекта МО приведены на рисунках 2-4. На рисунке 2 приведена оценка данных при работе устройства сети энергоснабжения потребителей устройств (сеть освещения, сеть снабжения электроэнергией АРМов, электроценты снабжения оргтехники) т.е. точка при снятии параметров в момент времени. Снятые параметры представляет собой текущие показатели напряжения в сети, т.е. параметр работы, для которого это устройство используется. Оценка проводилась при «простом» устройстве от 10 % до 30 % и уже видно, что при меньшем простое и большей загруженности требуется уменьшение временных интервалов для снятия параметров и более точной оценки.

При оценке работы сегмента аккумуляторных батарей (автономная пожарная сеть датчиков возгорания/задымления) напряжение было стабильно, показатели активного потока данных ожидаемо сравнялись (рис. 3).



Пример оценки достаточности потока данных для элемента вне технологического процесса приведен на рисунке 4 (сеть электроснабжения офисных помещений, включённая в контур

электроснабжения всей организации). Ожидаемо результаты показали сильное расхождение в обе стороны.



Рис. 2 – Пример оценки достаточности потока данных для технологического элемента
Fig. 2 – Example of assessing the adequacy of the data flow for a technological element



Рис. 3 – Пример оценки достаточности потока данных для автономного элемента
Fig. 3 – Example of assessing the adequacy of data flow for an autonomous element

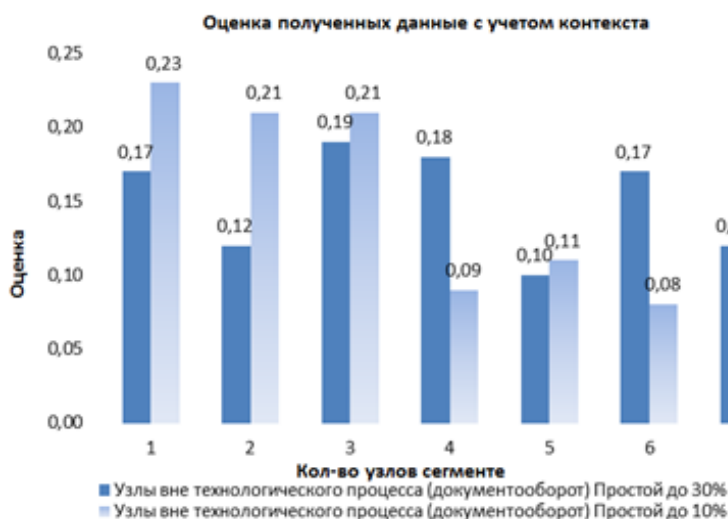


Рис. 4 – Пример оценки достаточности потока данных для неиспользуемого в тех. процессе элемента
Fig. 4 – Example of assessing the adequacy of the data flow for an element not used in the technical process

В исследованиях приведены возможности использования расчетных методов для определения объектов АПК, которые могут стать источниками данных для МО.

Заключение

Задача проектирования системы сетевого управления для решения задач усреднения систем электроснабжения должна опираться на определение источников параметрических данных, которых будет достаточно для реализации

подходов МО в задаче управления электроснабжением.

Для реализации задачи в зависимости от наличия данных и сети электрооборудования следует правильно выбирать алгоритм поверхностного обучения для предиктивного предсказания на основе входных данных. Более мощные алгоритмы глубокого обучения могут использовать более сложную многослойную модель, в которой каждый слой опирается на результаты предыдущего слоя.



Неудачный опыт применения МО последует при необходимости подробного описания процесса работы программного алгоритма, при недопустимости ошибки и значительно меньших затратах на обработку вводных данных.

Решение задачи должно учитывать наличие возрастающей «сетезации» т.е. объединения технических элементов производственного процесса в единую сетевую структуру. В результате этого процесса в сети будут присутствовать точки сбора статистики, данные, не пригодные для обучения модели МО. Это, например, узлы, используемые для передачи и формирования документооборота в рамках систем управления производством.

Список источников

1. Грачев, А. В. Способ работы модуля системы управления сегментами узлов и объектов АПК с помощью применения нейронных сетей для прогнозирования их состояния / А. В. Грачев, Е. Н. Неверов, А. М. Осинцев, К. Б. Плотников // Вестник Рязанского Государственного агротехнического университета
2. Network science: Applications for sustainable agroecosystems and food security / F. M. Windsor, J. J. N. Kitson, K. E. Miller [et al.] // Windsor F. M., . Kitson J. N, Miller K. E., Perspectives in Ecology and Conservation. – 2022. – Vol. 20, No. 2. – P. 79-90. – DOI 10.1016/j.pecon.2022.03.001.
3. Vinogradov A.V. Problemy povysheniya effektivnosti system elektrosnabzheniya sel'skikh potrebitel'ev/A. V. A.V Vinogradov. V.E. Vinogradova, Bol'shev// Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. - №11. – 2019. – S. 60-67.
4. Optimized economic loading of distribution transformers using minimum energy loss computing Agha A., Attar H., Luhach A.K. Mathematical Problems in Engineering. 2021. T. 2021. S. 8081212.
5. Грачев, А. В. Метод использования цифровых технологий в разработке систем управления теплицей на предприятии АПК / Грачев А. В, Неверов Е.Н, Горелкина А. К. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. Костычева П.А. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 110-117. – DOI 10.36508/RSATU.2024.57.49.014.
6. Signal analysis in power systems. Leonowicz Z., Jasiński M. Energies Sensor Networks, 2020, Vol. 16(1). DOI: 10.1177/1550147720903629.
7. Обзор методов машинного обучения и компьютерного зрения в технологии инкубации яиц сельскохозяйственных птиц / Г. С. Ширманова, Е. Н. Неверов, Е. В. Николаева, А. А. Владимиров // Вестник АПК Верхневолжья. – 2024. – № 4(68). – С. 92-99. – DOI 10.35694/YARCX.2024.68.4.014.
8. Vyavlenie uchastkov LEP s povyshennymi poteryami elektroenergii s pomoshch'yu mobil'nyh portativnyh tajmerov-elektroschetchikov /Vinogradov A.V., Bukreev A.V., Vinogradova A.V., Bol'shev V.E.// Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2020. № 3 (40). S. 31-36.
9. Amiryar Mustafa E., Pullen Keith R. A review of flywheel energy storage system technologies and their applications Appl. Sci., 7 (2017), pp. 1-21, <https://doi.org/10.3390/app7030286>.
10. Balabin A.A. Analiz raboty i rekomendacii po sovershenstvovaniyu sistemy nakopleniya elektricheskoy energii, ustanovlennoj v sel'skoj elektricheskoy seti 0,4 kV / A.A.Balabin, A. V. Vinogradov, A. A. Lansberg // – Agrozhenneriya. – 2022. – T. 24, № 1. – S. 72-79. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-72-79.
11. Seifullin A.YU. Zadachi strategiya upravleniya konfiguraciej sel'skoj mikroseti, soderzhashchej vozbnovyayemye istochniki energii / A.YU. Seifullin, A.V. Vinogradov, A.V. Vinogradova // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2021. – №3 (63). – S. 90-97. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-90-97.
12. Uchyonye predlagayut ispol'zovat' elektromobili v kachestve mobil'nyh hranilish chenerгии. Elektronnyj resurs. Zagolovok s ekrana. Rezhim dostupa: Uchyonye predlagayut ispol'zovat' elektromobili v kachestve mobil'nyh hranilish chenerгии (3dnews.ru). (Data obrashcheniya 01.03.2022 g).
13. Bischl, B., Mersmann, O., Trautmann, H., Weihs, C.: Resampling methods for meta-model validation with recommendations for evolutionary computation. Evolutionary Computation 20(2), 249–275 (2012).
14. Klein, A., Falkner, S., Bartels, S., Hennig, P., Hutter, F.: Fast bayesian hyperparameter optimization on large datasets. In: Electronic Journal of Statistics. vol. 11 (2017).
15. Maron, O., Moore, A.: The racing algorithm: Model selection for lazy learners. Artificial Intelligence Review 11(1–5), 193–225 (1997).
16. Poloczek, M., Wang, J., Frazier, P.: Multi-Information Source Optimization. In: Guyon et al. [48], pp. 4288–4298.
17. Bürger, F., Pauli, J.: A Holistic Classification Optimization Framework with Feature Selection, Preprocessing, Manifold Learning and Classifiers., pp. 52–68. Springer (2015).

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Grachev, A. V. *Sposob raboty modulya sistemy upravleniya segmentami uzlov i ob'yektov APK s pomoshch'yu primeneniya neyronnykh setey dlya prognozirovaniya ikh sostoyaniya* / A. V. Grachev, Ye. N. Neverov, A. M. Osintsev, K. B. Plotnikov // *Vestnik Ryazanskogo Gosudarstvennogo agrotekhnicheskogo universiteta*
2. *Network science: Applications for sustainable agroecosystems and food security* / F. M. Windsor, J. J. N. Kitson, K. E. Miller [et al.] // Windsor F. M., . Kitson J. N, Miller K. E., *Perspectives in Ecology and Conservation*. – 2022. – Vol. 20, No. 2. – P. 79-90. – DOI 10.1016/j.pecon.2022.03.001.



3. Vinogradov A. V. Problemy povysheniya effektivnosti system elektroobrazovaniya sel'skikh potrebitel'ev / A. V. A. V. Vinogradov, V. E. Vinogradova, Bol'shev // *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. - №11. – 2019. – S. 60-67.
4. Optimized economic loading of distribution transformers using minimum energy loss computing Agha A., Attar H., Luhach A. K. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. T. 2021. S. 8081212.
5. Grachev, A. V. Metod ispol'zovaniya tsifrovyykh tekhnologiy v razrabotke sistem upravleniya teplitsey na predpriyatii APK / Grachev A. V., Neverov Ye. N., Gorelkina A. K. // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. Kostycheva P. A.* – 2024. – T. 16, № 2. – S. 110-117. – DOI 10.36508/RSATU.2024.57.49.014.
6. Signal analysis in power systems. Leonowicz Z., Jasiński M. *Energies Sensor Networks*, 2020, Vol. 16(1). DOI: 10.1177/1550147720903629.
7. Obzor metodov mashinnogo obucheniya i komp'yuternogo zreniya v tekhnologii inkubatsii yaits sel'skokhozyaystvennykh ptits / G. S. Shirmanova, Ye. N. Neverov, Ye. V. Nikolayeva, A. A. Vladimirov // *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*. – 2024. – № 4(68). – S. 92-99. – DOI 10.35694/YARCX.2024.68.4.014.
8. Vyyavlenie uchastkov LEP s povyshennymi poteryami elektroenergii s pomoshch'yu mobil'nykh portativnykh tajmerov-elektroschetchikov / Vinogradov A. V., Bukreev A. V., Vinogradova A. V., Bol'shev V. E. // *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. № 3 (40). S. 31-36.
9. Amiryar Mustafa E., Pullen Keith R. A review of flywheel energy storage system technologies and their applications *Appl. Sci.*, 7 (2017), pp. 1-21, <https://doi.org/10.3390/app7030286>.
10. Balabin A. A. Analiz raboty i rekomendacii po sovershenstvovaniyu sistemy nakopleniya elektricheskoy energii, ustanovlennoj v sel'skoj elektricheskoy seti 0,4 kV / A. A. Balabin, A. V. Vinogradov, A. A. Lansberg // – *Agroinzhenneriya*. – 2022. – T. 24, № 1. – S. 72-79. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-72-79.
11. Sejfullin A. YU. Zadachi strategiya upravleniya konfiguraciej sel'skoj mikroseti, sodержashchej vozobnovlyae mye istochniki energii / A. YU. Sejfullin, A. V. Vinogradov, A. V. Vinogradova // *Vestnik Kazanskogo GAU*. – 2021. – №3 (63). – S. 90-97. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-90-97.
12. Uchyonye predlagayut ispol'zovat' elektromobili v kachestve mobil'nykh hranilish chenergii. *Elektronnyj resurs. Zagolovok s ekrana. Rezhim dostupa: Uchyonye predlagayut ispol'zovat' elektromobili v kachestve mobil'nykh hranilishch energii (3dnews.ru)*. (Data obrashcheniya 01.03.2022 g).
13. Bischl, B., Mersmann, O., Trautmann, H., Weihs, C.: Resampling methods for meta-model validation with recommendations for evolutionary computation. *Evolutionary Computation* 20(2), 249–275 (2012).
14. Klein, A., Falkner, S., Bartels, S., Hennig, P., Hutter, F.: Fast bayesian hyperparameter optimization on large datasets. In: *Electronic Journal of Statistics*. vol. 11 (2017).
15. Maron, O., Moore, A.: The racing algorithm: Model selection for lazy learners. *Artificial Intelligence Review* 11(1–5), 193–225 (1997).
16. Poloczek, M., Wang, J., Frazier, P.: Multi-Information Source Optimization. In: Guyon et al. [48], pp. 4288–4298.
17. Bürger, F., Pauli, J.: A Holistic Classification Optimization Framework with Feature Selection, Preprocessing, Manifold Learning and Classifiers., pp. 52–68. Springer (2015)

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

Грачев Александр Викторович, канд. техн. наук, преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия; grachev_av@list.ru

Неверов Евгений Николаевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия; neverov42@mail.ru

Горелкина Алена Константиновна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия, alengora@yandex.ru

Осинцев Алексей Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия. osintsev@kemtipp.ru

Author Information

Grachev Aleksander V., Candidate of Technical Sciences, Lecturer at the Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia; grachev_av@list.ru

Neverov Evgeny N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia; neverov42@mail.ru

Gorelkina Alena K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, alengora@yandex.ru

Osintsev Aleksey M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at Kemerovo State University, Kemerovo, Russia. osintsev@kemtipp.ru

Статья поступила в редакцию 17.02.2025; одобрена после рецензирования 24.04.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 17.02.2025.; approved after reviewing 24.04.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 67-76
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp.67-76

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.1
DOI: 10.36508/RSATU.2025.84.64.010

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ В ЗОНЕ СТЫКА
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И КОНИЧЕСКОЙ ЧАСТЕЙ ГИДРОЦИКЛОНА-ОСВЕТИТЕЛЯ**

Георгий Владимирович Дегтярев ¹✉, **Ольга Георгиевна Дегтярева** ², **Владислав Александрович Головкин** ³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
г. Краснодар, Россия

¹ degtyarev.g.v@mail.ru

² marxotgeo@mail.ru

³ niberius@bk.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было изучение посредством численного моделирования с последующим математическим анализом поведения радиальной скорости слева и справа от оси аппарата в пределах стыка цилиндрической и конической частей гидроциклона-осветлителя, места формирующего вход в сливной патрубок гидроциклона-осветлителя оросительной воды для обоснование конструктивно-технологических параметров аппарата, посредством учета основных характерных положений гидродинамических аспектов движения потока в теле гидроциклона с целью повышения эффективности работы.

Методология. Исследование сложного процесса осуществлено в три этапа. На первом этапе осуществляется моделирование «тела» объекта исследования для чего использовался сертифицированный программный продукт FreeCAD. На втором этапе был осуществлен эксперимент посредством численного моделирования с использованием современных сертифицированных программных продуктов (Salome и OpenFOAM), позволившие замоделировать процесс и получить траекторию движения радиальной скорости, в результате чего получена база данных в виде матрицы. На третьем этапе полученный массив экспериментальных данных гидродинамических процессов поведения радиальной скорости, зависящий от выделенных значимых факторов, был подвергнут цифровому анализу.

Результаты. В результате исследования, направленного на оптимизацию конструктивно-технологических параметров аппарата и повышение эффективности работы гидроциклонов-осветлителей, был осуществлен анализ полученных математических моделей по исследуемому гидродинамическому процессу, который позволил проанализировать процесс трансформации радиальной скорости и констатировать, что все поле радиальных скоростей, вдоль анализируемой линии по сечению –50 мм имеет однонаправленное движение во всем диапазоне исследуемых факторов.

Заключение. Результаты исследования позволили замоделировать движение потока под воздействием радиальной скорости. Установлено, что с точки зрения гидродинамических процессов радиальная скорость обладает большой изменчивостью. Было установлено, что максимальных значений радиальная скорость достигает в левой части аппарата в середине исследуемой траектории, а в правой части аппарата скорости значительно увеличиваются к сливу, но по модулю в 1,7 раз они меньше, чем скорости в правой части аппарата.

Ключевые слова: гидроциклоны-осветлители, радиальная скорость, математическое моделирование, численный эксперимент, цифровой анализ, гидродинамика гидроциклонов, математический анализ



Для цитирования: Дегтярев Г.В., Дегтярева О.Г., Головки В.А. Исследование поведения радиальной скорости в зоне стыка цилиндрической и конической части гидроциклона-осветлителя // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025. Т.17, №2. С.67-76 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.84.64.010>

Original article

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF RADIAL VELOCITY IN THE JUNCTION ZONE OF CYLINDRICAL AND CONICAL PARTS OF A CLARIFYING HYDROCYCLONE

Georgy V. Degtyarev^{1✉}, Olga G. Degtyareva², Vladislav A. Golovko³

^{1,2,3} Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

¹ degtyarev.g.v@mail.ru

² marxotgeo@mail.ru

³ niberius@bk.ru

Abstract.

Problem and purpose. The purpose of this study was to study through numerical simulation followed by mathematical analysis of the behavior of radial velocity to the left and right of the axis of the apparatus. The radial velocity was studied within the junction of the cylindrical and conical parts of the clarifying hydrocyclone. This is the place that forms the entrance to the drain pipe of a hydrocyclone clarifier for irrigation water. The study was conducted to substantiate the design and technological parameters of the device, taking into account the main characteristic positions of the hydrodynamic aspects of flow movement in the body of the hydrocyclone in order to increase.

Methodology. The study of the complex process was carried out in three stages. At the first stage, the "body" of the research object is modeled, for which the certified FreeCAD software product was used. At the second stage, an experiment was carried out through numerical simulation using modern certified software products (Salome and OpenFOAM). This made it possible to simulate the process and obtain the trajectory of the radial velocity, resulting in a database in the form of a matrix. At the third stage, the obtained array of experimental data on the hydrodynamic processes of radial velocity behavior, depending on the identified significant factors, was digitally analyzed.

Results. As a result of the research aimed at optimizing the design and technological parameters of the apparatus and increasing the efficiency of the clarifying hydrocyclones, the analysis of the obtained mathematical models for the hydrodynamic process under study was carried out. This made it possible to analyze the process of radial velocity transformation and to state that the entire field of radial velocities along the analyzed line with a cross-section of -50 mm has unidirectional movement in the entire range of studied factors.

Conclusion. The results of the study made it possible to simulate the flow movement under the influence of radial velocity. It has been established that, from the point of view of hydrodynamic processes, the radial velocity has great variability. It was found that the radial velocity reaches its maximum values on the left side of the device in the middle of the trajectory under study. The speeds on the right side of the device increase significantly towards discharge, but they are modulo 1.7 times less than the speeds on the right side of the device.

Key words: clarifying hydrocyclones, radial velocity, mathematical modeling, numerical experiment, digital analysis, hydrodynamics of hydrocyclones, mathematical analysis

For citation: Degtyarev G.V., Degtyareva O.G., Golovko V.A. Investigation of the behavior of radial velocity in the junction zone of the cylindrical and conical parts of the clarifying hydrocyclone // Herald of Ryzan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025. Vol.17, No.2. P.67-76 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.84.64.010>

Введение

Освоение угодий под производство сельскохозяйственной продукции, а также расширение и освоение новых агроландшафтов требует значительного финансирования. Необходимы средства на приобретение новых сортов, посадочного материала, саженцев, удобрения. И если сейчас в России в основном нет проблем с вышеперечисленными ресурсами, то на следующем этапе сельхозпроизводители решают проблему с интенсификацией сельского хозяйства. Юг России благоприятная территория для ведения сельско-

хозяйственного бизнеса, но и очень рискованная зона земледелия. При общей увлажненности региона, Юг испытывает недостаток в пресной воде. Учеными обосновано и зарекомендовало себя использование точечного орошения под саженец или сельскохозяйственную культуру [1]. Южное солнце иссушивает землю и ее можно увлажнять бесконечно. Это приведет к нерациональному перерасходу самого ценного и вечно недостающего ресурса – пресной воды. Возобновляемый источник воды сложно найти или организовать, поэтому фермеры очень зависимы от этого ресурса



са [2]. Южные реки, мелкие и крупные водотоки в основном берут свое начало в горно-предгорных районах и поэтому содержат достаточное количество примесей горных пород [3]. Причем поверхностные водотоки формируются везде по единой схеме, когда любые атмосферные осадки, а иногда и выклинивающиеся подземные воды или те и другие совместно, в начальной стадии создают небольшие ручейки, вода в которые попадает со всей близлежащей омываемой его поверхности. Ручейки текут в сторону естественного понижения местности, объединяются по течению в более крупные, которые, в свою очередь, создают временные водотоки, малые и другие реки. Данная вода в ее естественном состоянии не пригодна для орошения [4, 5].

Учеными анализировались различные способы механической подготовки воды, но в горно-предгорных ландшафтах зарекомендовали себя именно гидроциклоны, которые позволяют очистить воду от грубодиспергированных примесей [4, 5].

Процесс поиска оптимальных размеров гидроциклона для подготовки воды для орошения для каждого индивидуального случая в зависимости от природно-климатических факторов – это инженерная задача, требующая постоянного внимания [6, 7, 8].

Исследование радиальной скорости в пределах сливного патрубка гидроциклона-осветлителя является значимо важным знанием, которого до сих пор нет в научном мире [9]. Сложность процесса практически непрерывной трансформации радиальной скорости во внутреннем потоке, многократно увеличивается в пределах входа в сливной патрубок гидроциклона-осветлителя, хотя именно

в этой части аппарата происходит окончательное формирование функциональных результатов гидроциклона [10]. Именно это позволило определить цель работы, которая заключается в исследовании поведения радиальной скорости слева и справа, в пределах входа в сливной патрубок гидроциклона-осветлителя оросительной воды, для обоснования конструктивно-технологических параметров аппарата, посредством учета основных характерных положений гидродинамических аспектов движения потока в теле гидроциклона.

Материалы и методы исследования

Исследования гидродинамических процессов, происходящих в аппарате, осуществлялось численным методом на гидроциклоне с размерами, представленными на рисунке 1 [11]. Реализация численного метода предполагает необходимость получения тела объекта, в котором происходит процесс движения жидкости, то есть получение гипсовой модели, представленной на рисунке 2, выполненной в программе FreeCAD.

Реализация численного метода предполагает наложение на гипсовую модель расчетной сетки конечных элементов, что реализовано в программе Salome и представлено рисунке 3. В свою очередь исследования гидродинамических процессов, происходящих в аппарате, осуществлены на гидроциклоне в сечении, указанном на рисунке 4, что соответствует положению –50 мм от места стыка цилиндрической и конической частей аппарата.

Далее, используя разработанный и визуализированный на рисунках 1, 2, 3 и 4 материал, в программном комплексе OpenFOAM выполнены расчеты гидродинамических процессов.

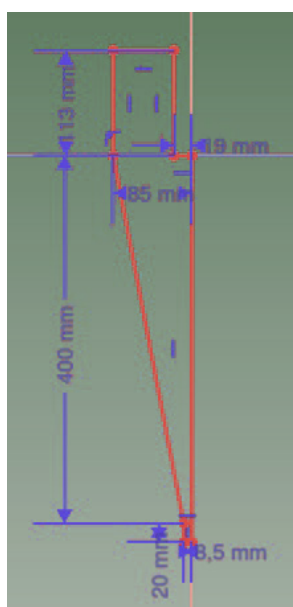


Рис. 1 – Геометрические размеры исследуемого гидроциклона.
Fig. 1 - Geometric dimensions of the investigated hydrocyclone.

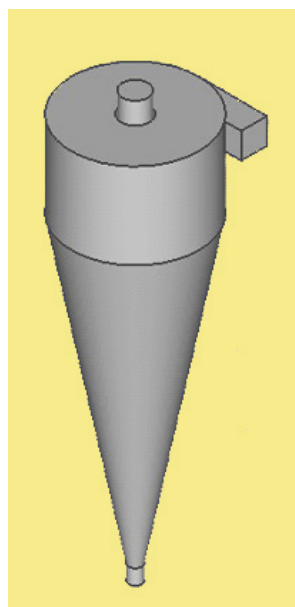


Рис. 2 – Объект исследования – гипсовая модель гидроциклона.
Fig. 2 - The object of the study is a gypsum model of a hydrocyclone.

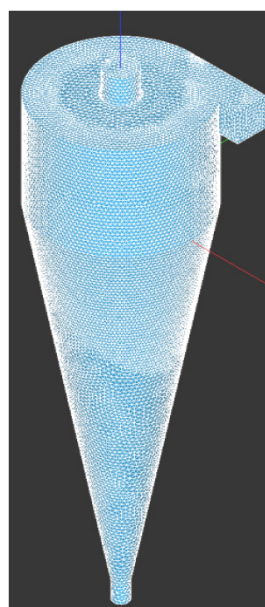


Рис. 3 – Расчетная модель гидроциклона-осветлителя.
Fig. 3 - Calculation model of a hydrocyclone clarifier.

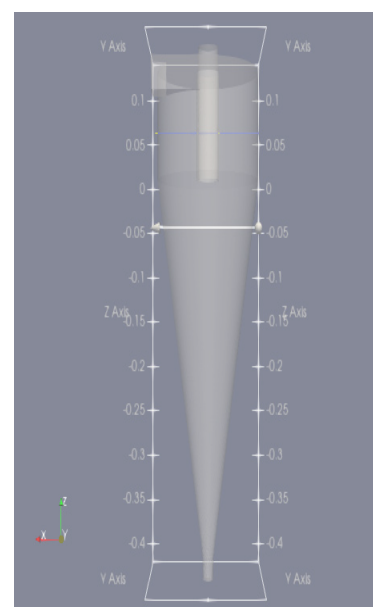


Рис. 4 – Расчетная модель с сечением на отметке –50 мм от сливного патрубка.
Fig. 4 - Design model with section at elevation -50 mm from drain nozzle.

Результаты исследований и их обсуждение

Завершенные расчеты позволили получить графики всех скоростей: радиальных V_x , тангенциальных V_y , вертикальных V_z и общей скорости V , по рассматриваемому сечению –50 мм от цилиндрической части в направлении конуса в гидроциклоне. На рисунке 5 представлены графики всех скоростей по сечению –50 в гидроциклоне-осветлителе, тогда как на рисунке 6 дана визуализация радиальной скорости (V_{rad}) по сечению в конической части гидроциклона на отметке –50 мм от сливного патрубка

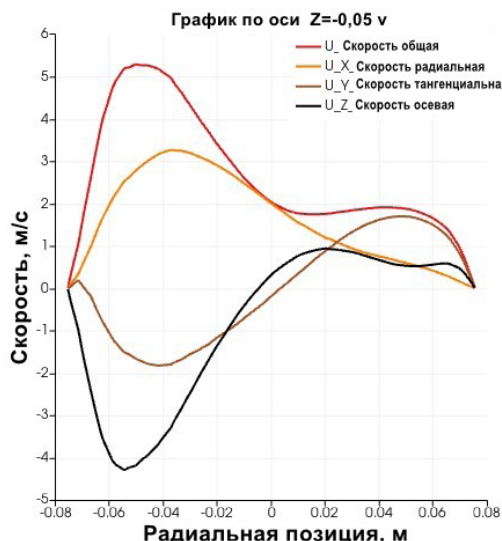


Рис. 5 – Графики всех скоростей по сечению –50 в гидроциклоне-осветлителе.

Fig. 5 - Graphs of all speeds along the -50 cross-section in a clarifying hydrocyclone.

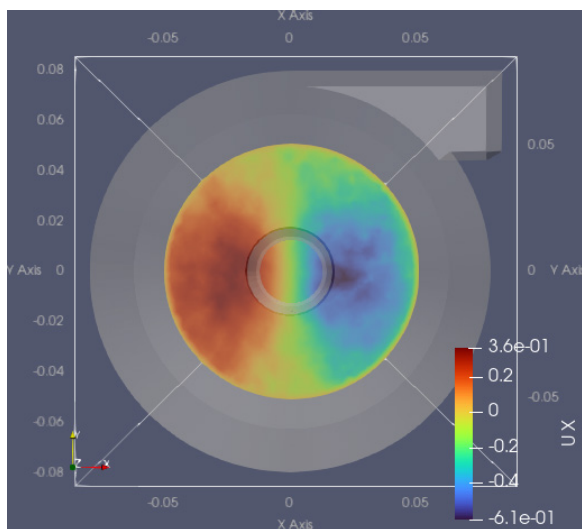


Рис. 6 – Визуализация радиальной скорости (V_{rad}) по сечению в конической части гидроциклона, на отметке –50 мм от сливного патрубка.

Fig. 6 - Visualization of the radial velocity (V_{rad}) along the cross-section in the conical part of the hydrocyclone, at around -50 mm from the drain pipe.

Реализованные в программном комплексе OpenFOAM расчеты гидродинамических процессов, позволили получить по каждой компоненте

скорости более 500 значений по сечению, как в левой, так и в правой частях аппарата [12]. При этом выдаваемый программой график всех скоростей, что дан на рисунке 5, также недостаточно информативен и не позволяет отследить степень влияния принятых к исследованию факторов, таких как расстояние по радиусу в гидроциклоне, как слева, так и справа, а также скорости потока на входе в аппарат, изменяющейся в пределах 10–20 м/с [13].

Качественная обработка полученного массива цифр, когда в последних и скрыт смысл происходящих гидродинамических процессов в гидроциклоне невозможен без математического моделирования происходящего [14].

Задачу разработки математической модели поведения радиальной скорости в сечении, как составного элемента общей скорости по конической части аппарата выполнили в программе wxMaxima [15].

Анализ массива цифр в программе wxMaxima по радиальной скорости предполагает представление в виде матрицы.

Результаты поведения радиальной скорости (V_{rad}) по сечению в конической части гидроциклона на отметке –50 мм от сливного патрубка, представленные на рисунке 5 и 6, показывают расхождение друг с другом. Рассмотрим последовательно математические модели происходящих гидродинамических процессов в гидроциклоне вначале в левой его части, а затем в правой части. Далее выполним сравнение этих результатов и выявим степень влияния принятых к исследованию факторов на гидродинамические процессы.

Фрагмент матрицы, по левой части от стенки до сливного патрубка, для скорости на входе в гидроциклон 15 м/с, полученной на основе численного эксперимента, имеет вид: M: matrix ([-0,0311; 15,00; 3,21056], [-0,0309; 15,00; 3,20804], [-0,0308; 15,00; 3,20553], [-0,0306; 15,00; 3,20302], [-0,0304; 15,00; 3,20018], [-0,0302; 15,00; 3,19606], [-0,0301; 15,00; 3,19194], [-0,0299; 15,00; 3,18782], [-0,0297; 15,00; 3,18370], [-0,0295; 15,00; 3,17958], [-0,0294; 15,00; 3,17510], [-0,0292; 15,00; 3,17048], [-0,0290; 15,00; 3,16587], [-0,0288; 15,00; 3,16125], [-0,0287; 15,00; 3,15664], [-0,0285; 15,00; 3,15203], [-0,0283; 15,00; 3,14741], [-0,0281; 15,00; 3,14280], [-0,0280; 15,00; 3,13818], [-0,0278; 15,00; 3,13357], [-0,0276; 15,00; 3,12895], [-0,0274; 15,00; 3,12434], [-0,0273; 15,00; 3,11973], [-0,0271; 15,00; 3,11521], [-0,0269; 15,00; 3,11021], [-0,0267; 15,00; 3,10521], [-0,0266; 15,00; 3,10021].....

Каждая ячейка матрицы, например, [-0,0302; 15,00; 3,19606], несет следующую информацию: –0,0302 (м) – является координатой по радиусу гидроциклона с левой стороны; 15,00 – это скорость потока во входном патрубке гидроциклона, (м/с); 3,19606 – это показатель радиальной скорости на представленном радиусе аппарата, (м/с).

Математическую модель представили в виде полинома второй степени используя следующий файл: lsquares_estimates (M, [x, y, z], Z = a+b·x+c·y+d·x·y+e·x²+f·y², [a, b, c, d, e, f]). Реали-



зовав файл и осуществив последовательно процедуры получения указанных коэффициентов в модели, а также выполнив оценку верификации и валидации пришли к следующему ее виду:

$$Z(x, y) = -0,63448 - 115,88917 \cdot x + 0,15306 \cdot y + 0,65287 \cdot x \cdot y - 1696,2187 \cdot x^2 - 1,91246 \cdot 10^{-4} \cdot y^2.$$

Полученная адекватная математическая модель процесса изменения радиальной скорости в гидроциклоне диаметром 170 мм, в сечении –50 мм от цилиндрической части аппарата, от таких аргументов как положение на радиусе слева и скорости входящего потока $V_{вх}$ (м/с) может быть представлена в виде поверхности функции отклика, приведенной на рисунке 7.

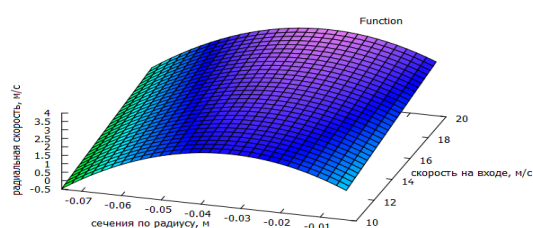


Рис. 7 – Поверхность функции отклика скорости радиальной

в сечении по конической части –50 мм слева.

Fig. 7 - The surface of the radial velocity response function in section along the conical part is –50 mm, on the left.

Анализ поверхности функции отклика скорости радиальной в сечении по конической части –50 мм слева от положения на радиусе и скорости входящего потока $V_{вх}$ (м/с), позволяет констатировать, что при изменении аргументов: расстояний по радиусу, по левой стороне в гидроциклоне от –0,075 до –0,001 мм, а также скорости на входе в гидроциклон от 10 до 20 м/с значения радиальной скорости (м/с) может измениться от –0,5 до +4,0 м/с.

Дальнейшее исследование скорости радиальной в гидроциклоне предполагает получение линий равных уровней по функции отклика, которые представлены на рисунке 8.

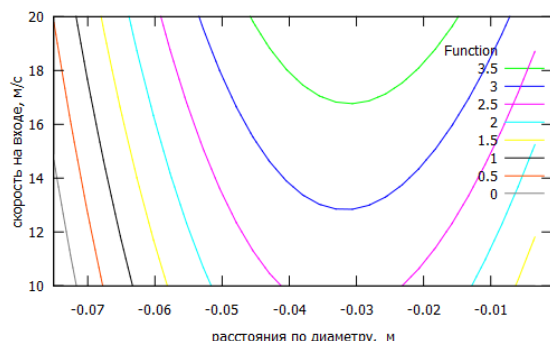


Рис. 8 – Линии равных уровней по поверхности функции отклика скорости радиальной в сечении по конической части –50 мм слева.

Fig. 8 - Lines of equal levels along the surface of the radial velocity response function in section along the conical part –50 mm on the left.

Анализ линий равных уровней по функции отклика по скорости радиальной, в сечении по конической части от цилиндра –50 мм, слева, позволяет констатировать, что при изменении аргумента расстояния по радиусу в гидроциклоне от –0,075 до –0,001 м, а также скорости на входе от 10 до 20 м/с, значения радиальной скорости (м/с), может измениться от 0,0 до 3,5 м/с.

Продолжая исследование полученной математической модели установим один из аргументов, а именно расстояние по радиусу аппарата F1 (–0,075; x); F2 (–0,038; x); F3 (–0,001; x) на постоянные уровни и получим следующие упрощенные уравнения:

$$\begin{aligned} F1(-0,075;x) &= -1,91246 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,10409475 \cdot x - 1,48402; \\ F2(-0,038;x) &= -1,91246 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,12825094 \cdot x + 1,3199686572; \\ F3(-0,001;x) &= -1,91246 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 0,15240713 \cdot x - 0,5202870487000001. \end{aligned}$$

Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунке 9.

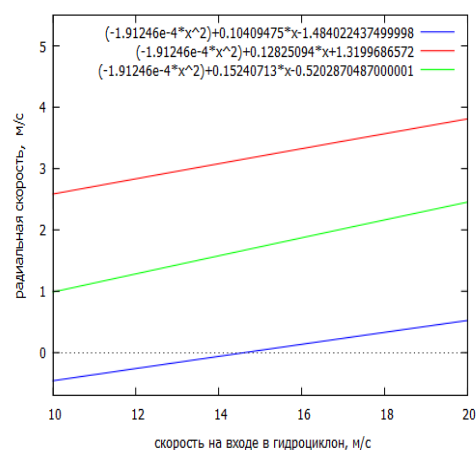


Рис. 9 – Значения изменения скорости радиальной в гидроциклоне

в сечении по конической части от цилиндра –50 мм, слева, при постоянных расстояниях по радиусу аппарата F1(–0,075; x); F2(–0,038; x); F3(–0,001; x).

Fig. 9 - The values of the radial velocity change in a hydrocyclone in the section along the conical part from the cylinder –50 mm, on the left at constant distances along the radius of the device F1(–0.075; x); F2(–0.038; x); F3(–0.001; x).

Констатируем, что функциональная связь между скоростью радиальной и скоростями на входе в гидроциклон при любых постоянных расстояниях по радиусу аппарата F1(–0,075; x); F2(–0,038; x); F3(–0,001; x) линейна.

С целью более лаконичного представления материалов исследований, ориентируясь на информацию, полученную из графиков, представленных на рисунках 5 и 6, будем в анализе указывать направление движения потока посредством знаков «+» или «–» [16]. Цвета коричневого и близлежащих колоритов будут указывать на направление движения в теле аппарата в направлении, совпадающем с указанной на графике осью, и будут



обозначаться знаком «+», тогда как синий цвет и близкие к нему по колориту будут указывать на направление потока в противоположном направлении и будут обозначаться знаком «-».

При постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F1(-0,075; x)$, то есть у конусной стенки аппарата слева при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=10$ м/с, значение радиальной скорости равно $V_{рад}=-0,46$ м/с и это единственное наибольшее значение скорости имеющее направление движения отличное от любой другой возможной ситуации в системе. Тогда как при наибольшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=20$ м/с – $V_{рад}=+0,12$ м/с, что соответствует тренду направления. Нулевое значение ($V_{рад}=0$ м/с) при скорости на входе $V_{вх}=14,65$ м/с.

Анализ при среднем постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F2(-0,038; x)$, то есть практически по середине радиуса аппарата: имеем одинаковое направление движения во всем диапазоне изменения скоростей и при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=10$ м/с – значение $V_{рад}=+2,58$ м/с – максимальное значение по сечению, а при максимальной входной скорости $V_{вх}=20$ м/с $V_{рад}$ увеличивается и станет наибольшим для данного сечения $V_{рад}=+3,80$ м/с.

Анализ математических моделей и функций отклика, при постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F3(-0,001; x)$, то есть практически при приближении к сливному патрубку аппарата слева, имеем при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=10$ м/с, значение радиальной скорости $V_{рад}=+0,98$ м/с, тогда как при наибольшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=20$ м/с значение радиальной скорости будет равно $V_{рад}=2,45$ м/с.

Дальнейшее исследование радиальной скорости посредством математического моделирования процесса, предполагает определение на постоянные уровни скорости на входе в аппарат $F1(x; 10)$; $F2(x; 15)$; $F3(x; 20)$, что упростит основную модель до вида:

$$F1(y, 10) = -1696,2187 \cdot y^2 - 109,36047 \cdot y + 0,87699;$$

$$F2(y, 15) = -1696,2187 \cdot y^2 - 106,09612 \cdot y + 1,61839;$$

$$F3(y, 20) = -1696,2187 \cdot y^2 - 102,83177 \cdot y + 2,35022;$$

Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунке 10.

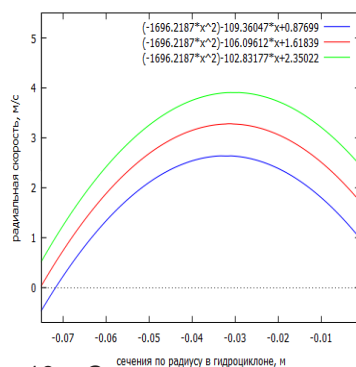


Рис. 10 – Скорость радиальная при $F1(y; 10)$; $F2(y; 15)$; $F3(y; 20)$ равно «const».

Fig. 10 - The radial velocity at $F1(y; 10)$; $F2(y; 15)$; $F3(y; 20)$ is "const".

Прежде всего необходимо отметить, что связь

между радиальной скоростью и аргументами, то есть сечением по радиусу в гидроциклоне, при любой постоянной скорости на входе в аппарат имеет экстремальные значения [17].

При постоянной наименьшей скорости на входе в аппарат, $V_{вх}=10$ м/с, позволяет фиксировать наименьшее экстремальное значение функции равно $V_{рад}=+2,64$ м/с, при сечении по радиусу равному $-0,033$ м. При приближении сечения по радиусу гидроциклона к стенке значение радиальной скорости сменит направление движения и будет равно $V_{рад}=-0,46$ м/с и это наибольшее отрицательное значение функции для данного сечения, тогда как при приближении к центральной оси аппарата значение радиальной скорости будет менять направление движения и достигнет значения $V_{рад}=+0,97$ м/с и это наименьшее положительное значение функции, но для данного сечения. Нулевых значений, в сечении -50 мм по конической части аппарата, радиальная скорость достигнет в сечении по радиусу равному $-0,072$ м.

При постоянной средней скорости на входе в аппарат $V_{вх}=15$ м/с фиксируется экстремум функции $V_{рад}=+3,27$ м/с в сечении $-0,031$ м. Ближе к стенке гидроциклона При приближении сечения по радиусу гидроциклона к стенке значение радиальной скорости будет равно $V_{рад}=+0,28$ м/с, тогда как при приближении к центральной оси аппарата значение радиальной скорости будет увеличиваться и достигнет значения $V_{рад}=+1,72$ м/с. Нулевых значений радиальной скорости, в данном сечении по конусной части аппарата нет, все скорости однонаправленны.

При постоянной наибольшей скорости на входе в аппарат, $V_{вх}=20$ м/с, позволяет фиксировать экстремальное значение функции равно $V_{рад}=+3,91$ м/с, при сечении по радиусу равному $-0,030$ м. При приближении сечения по радиусу гидроциклона к стенке значение радиальной скорости будет равно $V_{рад}=+0,52$ м/с и это наибольшее положительное сечение для данного сечения, тогда как при приближении к центральной оси аппарата значение радиальной скорости будет увеличиваться и достигнет значения $V_{рад}=+2,45$ м/с. Нулевых значений радиальной скорости, в данном сечении по конусной части аппарата также нет, все скорости однонаправленны.

Продолжая исследовать радиальную скорость по сечению, подвергнем анализу результаты происходящего в правой части аппарата. Фрагмент матрицы, по правой части от сливного патрубка до стенки, для скорости на входе в гидроциклон 20 м/с, полученной на основе численного эксперимента, имеет вид: [0,0270; 20,00; 1,23392], [0,0272; 20,00; 1,22854], [0,0274; 20,00; 1,22316], [0,0275; 20,00; 1,21778], [0,0277; 20,00; 1,21240], [0,0279; 20,00; 1,20702], [0,0281; 20,00; 1,20164], [0,0282; 20,00; 1,19626], [0,0284; 20,00; 1,19088], [0,0291; 20,00; 1,16936], [0,0293; 20,00; 1,16455], [0,0295; 20,00; 1,15990], [0,0296; 20,00; 1,15524], [0,0298; 20,00; 1,15058], [0,0300; 20,00; 1,14592], [0,0302; 20,00; 1,14125], [0,0303; 20,00; 1,13659], [0,0305; 20,00; 1,13192], [0,0307; 20,00; 1,12725], [0,0309; 20,00; 1,12258], [0,0310; 20,00; 1,11813], [0,0312; 20,00; 1,11380], [0,0314; 20,00; 1,10947], [0,0473; 20,00; 0,81135], [0,0475; 20,00; 0,80792], [0,0477;



20,00; 0,80449], [0,0478; 20,00; 0,80100], [0,0480; 20,00; 0,79749], [0,0482; 20,00; 0,79397], [0,0484; 20,00; 0,79066], [0,0485; 20,00; 0,78757], [0,0487; 20,00; 0,78448], [0,0489; 20,00; 0,78139], [0,0491; 20,00; 0,77830], [0,0492; 20,00; 0,77522], [0,0494; 20,00; 0,77213], ...

Реализуя тот же путь, что и примененный при исследовании левой части по сечению в гидроциклоне, получили следующую математическую модель для правой части:

$$Z(x, y) = 0,32574 - 22,85672 \cdot x + 0,12949 \cdot y - 0,88256 \cdot x \cdot y + 169,28648 \cdot x^2 - 0,00158 \cdot y^2.$$

По адекватной математической модели получили поверхность отклика для правой части того же гидроциклона представленную на рисунке 11.

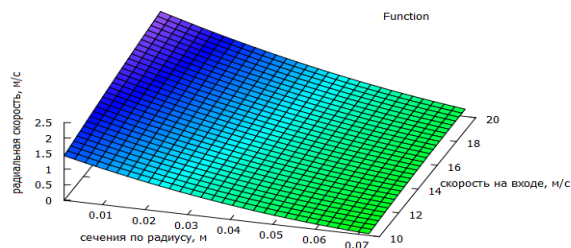


Рис. 11 – Поверхность функции отклика для скорости радиальной в гидроциклоне диаметром 170 мм, в сечении по конической части от цилиндра –50 мм по правой части от стенки до сливного патрубка.

Fig. 11 - The surface of the response function for radial velocity in a 170 mm diameter hydrocyclone, with a section along the conical part from the cylinder of -50 mm on the right side from the wall to the drain pipe.

Анализ поверхности функции отклика по математической модели по скорости радиальной в гидроциклоне диаметром 170 мм в сечении по конической части –50 мм по правой части от стенки до сливного патрубка, от положения на радиусе и скорости входящего потока $V_{вх}$ (м/с), позволяет констатировать, что при изменении аргументов – расстоянии по радиусу, по правой стороне в гидроциклоне от +0,001 до +0,075 мм, а также скорости на входе в гидроциклон от 10 до 20 м/с значения радиальной скорости (м/с) могут измениться от 0,0 до +2,5 м/с. При этом поверхность отклика представляет собой слабо вогнутую плоскость, что указывает на возможное отсутствие экстремальных значений в исследуемом диапазоне аргументов.

Продолжение исследования поведения радиальной скорости, но уже в правой части аппарата, предполагает построение линий равных уровней, что представлено на рисунке 12.

Анализ линий равных уровней по функции скорости радиальной в гидроциклоне диаметром 170 мм в сечении по конической части -50 мм по правой части от положения на радиусе и скорости входящего потока $V_{вх}$ (м/с) позволяет констатировать, что при изменении аргументов по оси ОХ, расстояний по диаметру в гидроциклоне +0,001 до +0,075 мм, а также по оси ОУ, скорости на входе в

гидроциклон от 10 до 20 м/с, значения радиальной скорости (м/с), могут изменяться от +0,2 до 2,2 м/с по уточненным данным. При этом явно подтвердилось предположение, что функция отклика не обладает экстремальными значениями в исследуемом диапазоне аргументов.

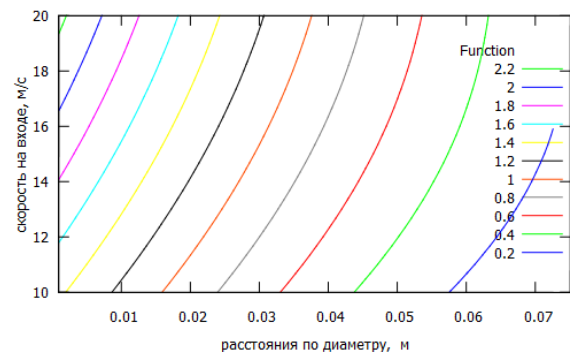


Рис. 12 – Линии равных уровней по поверхности функции отклика, по скорости радиальной, в сечении по конической части –50 мм по правой части от стенки до сливного патрубка.

Fig. 12 - Lines of equal levels along the surface of the response function, radial in velocity, in section along the conical part -50 mm on the right side from the wall to the drain pipe.

Используя выше представленный алгоритм, апробированный при исследовании левой части, установив расстояние по радиусу аппарата на постоянные уровни, а именно $F1(0,001; x)$; $F2(0,038; x)$; $F3(0,075; x)$, что позволило получить следующие упрощенные уравнения:

$$F1(0,001; x) = -0,00158 \cdot x^2 + 0,12861 \cdot x + 0,30305;$$

$$F2(0,038; x) = -0,00158 \cdot x^2 + 0,09595 \cdot x - 0,29836;$$

$$F3(0,075; x) = -0,00158 \cdot x^2 + 0,063298 \cdot x - 0,43628.$$

Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунке 13.

Как и по левой части аппарата, справа, связь между функцией и аргументами, не имеет экстремальных значений при любых постоянных расстояниях по радиусу аппарата $F1(0,001; x)$; $F2(0,038; x)$; $F3(0,075; x)$. При этом в анализе скорости справа использован тот же принцип установления направления движения потока посредством знака «+» – это движение в сторону сливного патрубка или «-» это движение в сторону пескового патрубка.

При постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F1(0,001; x)$, то есть у сливного патрубка аппарата, при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=10$ м/с, значение радиальной скорости равно $V_{рад}=1,43$ м/с и это наибольшее значение радиальной скорости для данного сечения, тогда как при наибольшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=20$ м/с, значение радиальной скорости будет равно $V_{рад}=+2,24$ м/с и это наибольшее значение радиальной скорости, но уже для данного сечения.

При среднем постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F2(0,038; x)$, то есть практически по середине радиуса аппарата, имеем при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{вх}=10$ м/с, значение радиальной скорости



равное $V_{\text{рад}} = +0,50$ м/с, тогда как при наибольшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{\text{вх}} = 20$ м/с значение радиальной скорости будет увеличиваться и станет равно для данного сечения $V_{\text{рад}} = +0,98$ м/с.

При постоянном расстоянии по радиусу аппарата $F3(0,075; x)$, то есть практически при приближении к стенке аппарата, имеем при наименьшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{\text{вх}} = 10$ м/с, значение радиальной скорости $V_{\text{рад}} = +0,03$ м/с и это наименьшая положительная скорость для данного сечения, тогда как при наибольшей скорости на входе в гидроциклон равной $V_{\text{вх}} = 20$ м/с значение радиальной скорости будет равно $V_{\text{рад}} = +0,19$

м/с и это наименьшее положительное значение радиальной скорости для данного сечения.

Анализ математической модели процесса изменения скорости радиальной в гидроциклоне диаметром 170 мм, в сечении по конусу –50 мм, по правой части от стенки до сливного патрубка, при постоянных скоростях на входе в аппарат $F1(y; 10)$; $F2(y; 15)$; $F3(y; 20)$, позволил получить следующие упрощенные уравнения:

$$F1(y; 10) = 169,28648 \cdot y^2 - 31,68232 \cdot y + 1,46264;$$

$$F2(y; 15) = 169,28648 \cdot y^2 - 36,09512 \cdot y + 1,91259;$$

$$F3(y; 20) = 169,28648 \cdot y^2 - 40,50792 \cdot y + 2,28354.$$

Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунке 14.

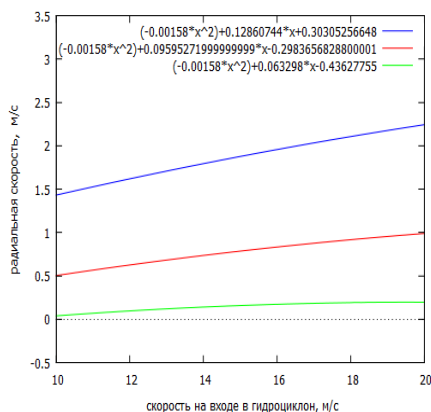


Рис. 13 – Изменения скорости радиальной в гидроциклоне диаметром 170 мм в сечении по конусу –50 мм по правой части при постоянных расстояниях по радиусу аппарата $F1(0,001; x)$; $F2(0,038; x)$; $F3(0,075; x)$.

Fig. 13 - Radial velocity changes in a 170 mm diameter hydrocyclone in a cone section of -50 mm on the right side at constant distances along the radius of the apparatus $F1(0,001; x)$; $F2(0,038; x)$; $F3(0,075; x)$.

Заключение

Прежде всего необходимо отметить, что связь между радиальной скоростью и аргументами, то есть сечением по радиусу в гидроциклоне при любой постоянной скорости на входе в аппарат линейна.

При постоянной наименьшей скорости на входе в аппарат $V_{\text{вх}} = 10$ м/с, при приближении сечения по радиусу гидроциклона к сливному патрубку, значение радиальной скорости будет равно $V_{\text{рад}} = 1,43$ м/с и это наименьшее положительное значение функции для данного сечения, тогда как при приближении к стенке аппарата значение радиальной скорости будет уменьшаться и перейдет к наименьшему положительному значению для данного сечения и достигнет величины равной $V_{\text{рад}} = 0,04$ м/с.

При постоянной средней скорости на входе в аппарат $V_{\text{вх}} = 15$ м/с, при приближении сечения по радиусу гидроциклона к сливному патрубку, значение радиальной скорости будет равно $V_{\text{рад}} = +1,87$ м/с, тогда как при приближении к стенке аппарата значение радиальной скорости достигнет величины равной $V_{\text{рад}} = 0,15$ м/с.

При постоянной наибольшей скорости на входе в аппарат $V_{\text{вх}} = 20$ м/с, при приближении сечения по радиусу гидроциклона к сливному патрубку, значение

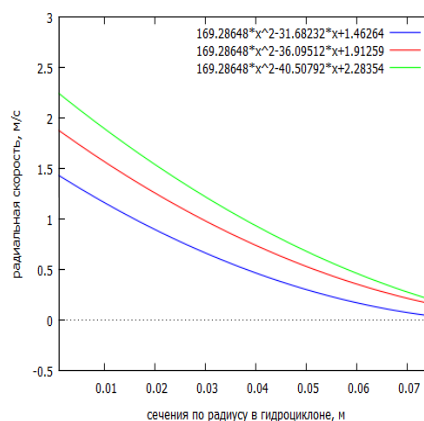


Рис. 14 – Скорости радиальные в гидроциклоне диаметром 170 мм, в сечении по конусу –50 мм по правой части при постоянных скоростях на входе в аппарат $F1(y; 10)$; $F2(y; 15)$; $F3(y; 20)$.

Fig. 14 - Radial velocities in a 170 mm diameter hydrocyclone, with a cone section of -50 mm on the right side at constant speeds at the inlet to the apparatus $F1(y; 10)$; $F2(y; 15)$; $F3(y; 20)$.

радиальной скорости будет равно $V_{\text{рад}} = +2,25$ м/с и это наибольшее положительное значение для данного сечения, тогда как при приближении к стенке аппарата значение радиальной скорости будет также уменьшаться и достигнет величины равной $V_{\text{рад}} = +0,19$ м/с.

По результатам численных расчетов и математического анализа процессов трансформации радиальной скорости вдоль линии, в сечении –50 мм от цилиндрической части гидроциклона, можно констатировать:

Изучение поведения радиальной скорости в пределах входа в сливной патрубок гидроциклона-осветителя, выполнялось по полученным нами математическим моделям. Результаты исследования позволяют констатировать нижеследующее:

1) практически все поле радиальных скоростей, вдоль анализируемой линии по сечению –50 мм, имеет однонаправленное движение во всем диапазоне исследуемых факторов. Исключением является влияние наименьшей скорости (10 м/с), когда в пристенном пространстве по конусу имеем участок смены направления движения на противоположное;

2) в левой половине аппарата, в диапазоне исследуемых факторов, имеем наибольшие значения ради-



альной скорости в средней части радиуса, тогда как в правой части наибольшие скорости будут смещены к сливному патрубку и все они в 1,7 раза меньше, чем в левой половине;

3) результаты представленных исследований радиальной скорости, вдоль линии по рассматриваемому сечению, наглядно позволяют видеть ее большую изменчивость и это характерно для любых других линий, что требует дальнейшего детального исследования поведения скорости для оптимизации конструктивно-технологических параметров.

Список источников

1. Аппаратурное оформление совмещенных процессов в технологии водоподготовки / В. В. Бородычев, А. Е. Новиков, М. И. Ламскова, М. И. Филимонов // Новые технологии. – 2020. – Т. 16, № 5. – С. 55-62. – DOI 10.47370/2072-0920-2020-16-5-55-62. – EDN AANTMR.

2. Ву Ле Куен. Эффективные сборно-монокитные вертикальные цилиндрические резервуары / Ву Ле Куен, А. М. Блягоз // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2011. – № 4. – С. 13-17. – EDN OOPBEB.

3. Патент № 2356631 С1 Российская Федерация, МПК В03С 1/16. Ленточный магнитный сепаратор: № 2007147330/03: заявл. 18.12.2007 : опубл. 27.05.2009 / Г. А. Епутаев, М. Г. Данилова, Б. С. Варламов ; заявитель Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГ-МИ (ГТУ) Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. EDN: FBQIUX.

4. Семенов, А. В. Современные решения аккумуляции и очистки дождевых и талых вод / А. В. Семенов, Н. С. Латышев, Р. В. Петрук // Водоснабжение и санитарная техника. – 2023. – № 9. – С. 56-59. – DOI 10.35776/VST.2023.09.09. – EDN IELGXZ.

5. Лагуткин, М. Г. Очистка оборотной воды от механических примесей в цилиндрических гидроциклонах с приемным бункером / М. Г. Лагуткин, Е. Ю. Баранова, В. М. Пигарев // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 3. – С. 24-28.

6. Разработка двухкамерного гидроциклона для узлов водоподготовки оросительных систем / М. И. Ламскова, А. Е. Новиков, М. И. Филимонов, С. В. Бородычев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 3(79). – С. 104-109.

7. Моделирование процессов разделения неоднородных жидкостных систем в гидроциклоне с учётом критериев подобия / А. Б. Голованчиков, А. Е. Новиков, М. И. Ламскова, М. И. Филимонов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 34-38.

8. Оптимизация конструктивно-режимных параметров гидроциклона с учетом натурных исследований

/ М. И. Ламскова, М. И. Филимонов, Ю. И. Сухарев, А. Е. Новиков, С. В. Бородычев // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 61-67. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-61-67 EDN: DPRCLT.

9. Патент № 2350395 С1 Российская Федерация, МПК В03С 1/04. Магнитный центробежный сепаратор: № 2007143747/03: заявл. 26.11.2007 : опубл. 27.03.2009 / Г. А. Епутаев, М. Г. Данилова, Б. С. Варламов ; заявитель Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГ-МИ (ГТУ) Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. EDN: ZHHVBZ.

10. Зотова, Е. В. Расчет конструкций на импульсные воздействия / Е. В. Зотова, Л. Н. Панасюк, А. М. Блягоз // Новые технологии. – 2012. – № 3. – С. 51-58. – EDN PNQBYF.

11. Дегтярев, Г. В. Технологии и средства механической очистки вод малых поверхностных водотоков для орошения : специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дегтярев Георгий Владимирович. – Краснодар, 2007. – 47 с. – EDN NIOGKD.

12. Лагуткин, М. Г. Смещение пенообразующих жидкостей в гидроциклонах / М. Г. Лагуткин, А. Н. Михальченкова, М. М. Бутрин // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 9. – С. 26-32.

13. Дегтярев, Г. В. Статистические математические модели процессов в низконапорных гидроциклонах в зависимости от конструктивных и технологических факторов / Г. В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 3. – С. 202-212.

14. Дегтярев, Г. В. Сравнительный анализ процессов в низконапорных гидроциклонах-осветлителях различных модификаций / Г. В. Дегтярев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – № 6. – С. 115-118.

15. Дегтярев, В. Г. Теоретический анализ и экспериментальные исследования адаптивного датчика регулятора расхода воды / В. Г. Дегтярев, Г. В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 36. – С. 300-303. – EDN PBPZPX.

16. Епутаев, Г. А. Траектории движения магнитных частиц в дисковом сепараторе при мокром обогащении железосодержащих материалов / Г. А. Епутаев, М. Г. Данилова, Б. С. Варламов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 529-537.

17. Yablonskiy, V. O. Modeling of Viscoplastic Fluids Separation in a Cylindroconical Hydrocyclone by Pressure Flotation / V. O. Yablonskiy // Chemical and Petroleum Engineering. – 2023. – Vol. 59, No. 3-4. – P. 191-197.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Apparaturное oformlenie sovmeshhennyh processov v tehnologii vodopodgotovki / V. V. Borodychev, A. E. Novikov, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // Novye tehnologii. – 2020. – T. 16, № 5. – S. 55-62. – DOI 10.47370/2072-0920-2020-16-5-55-62. – EDN AANTMR.

2. Vu Le Kuen. Jeffektivnye sborno-monolitnye vertikal'nye cilindricheskie rezervuary / Vu Le Kuen, A. M. Bljagoz // Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2011. – № 4. – S. 13-17. – EDN OOPBEB.

3. Patent № 2356631 C1 Rossijskaja Federacija, MPK B03C 1/16. Lentochnyj magnitnyj separator: № 2007147330/03: zayavl. 18.12.2007 : opubl. 27.05.2009 / G. A. Eputaev, M. G. Danilova, B. S. Varlamov ; zayavitel' Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut (gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet) (SKG-MI (GTU) Gosudarstvennoe obrazovatel'noe



uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya. EDN: FBQIUX.

4. Semenov, A. V. Sovremennye resheniya akkumuljatsii i ochistki dozhdevykh i talykh vod / A. V. Semenov, N. S. Latyshev, R. V. Petruk // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2023. – № 9. – S. 56-59. – DOI 10.35776/VST.2023.09.09. – EDN IELGXZ.

5. Lagutkin, M. G. Ochistka oborotnoj vody ot mekhanicheskikh primesej v cilindrokonicheskikh gidrociklonah s priemnym bunkerom / M. G. Lagutkin, E. Ju. Baranova, V. M. Pigarev // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2013. – № 3. – S. 24-28.

6. Razrabotka dvukhamernogo gidrociklona dlja uzlov vodopodgotovki orositel'nykh sistem / M. I. Lamskova, A. E. Novikov, M. I. Filimonov, S. V. Borodychev // Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledeliya. – 2020. – № 3(79). – S. 104-109.

7. Modelirovanie processov razdeleniya neodnorodnykh zhidkostnykh sistem v gidrociklone s uchjotom kriteriev podobija / A. B. Golovanchikov, A. E. Novikov, M. I. Lamskova, M. I. Filimonov // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2018. – № 2. – S. 34-38.

8. Optimizatsiya konstruktivno-rezhimnykh parametrov gidrociklona s uchjetom naturnykh issledovanij / M. I. Lamskova, M. I. Filimonov, Ju. I. Suharev, A. E. Novikov, S. V. Borodychev // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 4. – S. 61-67. DOI: 10.26897/1997-6011/2020-4-61-67 EDN: DPRCLT.

9. Patent № 2350395 C1 Rossijskaja Federacija, MPKB03C 1/04. Magnitnyj centrobezhnyj separator: № 2007143747/03: zajavl. 26.11.2007 : opubl. 27.03.2009 / G. A. Eputaev, M. G. Danilova, B. S. Varlamov ; zajavitel' Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut (gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet) (SKG-MI (GTU) Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya. EDN: ZHHVBZ.

10. Zotova, E. V. Raschet konstrukcij na impul'snye vozdejstviya / E. V. Zotova, L. N. Panasjuk, A. M. Bljagoz // Novye tekhnologii. – 2012. – № 3. – S. 51-58. – EDN PNQBYF.

11. Degtyarev, G. V. Tekhnologii i sredstva mekhanicheskoy ochistki vod malyx poverhnostnykh vodotokov dlja orosheniya : special'nost' 06.01.02 «Melioratsija, rekul'tivatsija i ohrana zemel'» : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Degtyarev Georgij Vladimirovich. – Krasnodar, 2007. – 47 s. – EDN NIOGKD.

12. Lagutkin, M. G. Smeshenie penoobrazujushhih zhidkostej v gidrociklonah / M. G. Lagutkin, A. N. Mihal'chenkova, M. M. Butrin // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2016. – № 9. – S. 26-32.

13. Degtyarev, G. V. Statisticheskie matematicheskie modeli processov v nizkonapornykh gidrociklonah v zavisimosti ot konstruktivnykh i tehnologicheskikh faktorov / G. V. Degtyarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – № 3. – S. 202-212.

14. Degtyarev, G. V. Statisticheskie matematicheskie modeli processov v nizkonapornykh gidrociklonah v zavisimosti ot konstruktivnykh i tehnologicheskikh faktorov / G. V. Degtyarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – № 3. – S. 202-212.

15. Degtyarev, V. G. Teoreticheskij analiz i jeksperimental'nye issledovanija adaptivnogo datchika reguljatora rashoda vody / V. G. Degtyarev, G. V. Degtyarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – № 36. – S. 300-303. – EDN PBPZPX.

16. Eputaev, G. A. Traektorii dvizheniya magnitnykh chastic v diskovom separatore pri mokrom obogashhenii zhelezosoderzhashhih materialov / G. A. Eputaev, M. G. Danilova, B. S. Varlamov // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 2009. – № S16. – S. 529-537.

17. Yablonskiy, V. O. Modeling of Viscoplastic Fluids Separation in a Cylindroconical Hydrocyclone by Pressure Flotation / V. O. Yablonskiy // Chemical and Petroleum Engineering. – 2023. – Vol. 59, No. 3-4. – P. 191-197.

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

Дегтярев Георгий Владимирович, д-р. техн. наук, профессор кафедры архитектуры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», degtyarev.g.v@mail.ru

Дегтярева Ольга Георгиевна, д-р. техн. наук, зав. кафедрой строительного производства, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», marxotgeo@mail.ru

Головко Владислав Александрович, аспирант кафедры архитектуры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», niberius@bk.ru

Author Information

Degtyarev George V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Departments of Architecture. «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», degtyarev.g.v@mail.ru

Degtyareva Olga G., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Construction Production. «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», marxotgeo@mail.ru

Golovko Vladislav A., Postgraduate student of the Department of Architecture. «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», niberius@bk.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2025; одобрена после рецензирования 15.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 14.03.2025; approved after reviewing 15.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГТУ, 2025, т.17, №2, с. 77-84
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp.77-84

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.372
DOI: 10.36508/RSATU.2025.33.44.011

К ВОПРОСУ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ФОРКАМЕРЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Никита Сергеевич Жбанов

Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия.

zbanovnikita25@gmail.com

Аннотация

Проблема и цель. Анализируя вопрос применения двигателей, следует отметить, что наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания, используемые в наземных транспортно-технологических средствах. В результате проведенных ранее исследований был выявлен ряд недостатков подобных двигателей. Основным из них является, не лучшее воспламенение топливной смеси. Для решения данной проблемы была предложена модернизированная конструкция форкамеры высокопроизводительных двигателей. Были проведены соответствующие расчеты, теоретически подтверждающие улучшение процесса воспламенения топливной смеси за счет использования в конструкции двигателя разработанной форкамеры. Следующим этапом определения рациональности использования предлагаемой форкамеры является проведение экспериментальных исследований, для этого необходимо изготовление экспериментального образца форкамеры.

Методология. Разработанная форкамера является элементом двигателя, отвечающим за подачу, смесеобразование и воспламенение горючего. Данные процессы требуют особого внимания и контроля за качеством деталей, сопряженных с ними. Отсутствие должной точности изготовления деталей может отрицательно сказаться на эффективности функционирования как отдельно взятого элемента, так и двигателя в целом. В качестве оборудования для изготовления была выбрана печатная машина SLM 280/2.0, позволяющая выполнять аддитивное производство металлом. Выбор данной машины обусловлен высокой точностью печати, которая допускает погрешность до 5 мкм. Кроме того, следует отметить, что выбранное оборудование способно обеспечить изготовление деталей размерами до 280x280x340 мм. Учитывая размерные характеристики предлагаемой форкамеры, использование для ее изготовления данной машины является возможным. Изготовление форкамеры происходит в три этапа. На первом этапе, в ходе рассыпания порошка, спекали плату, на которой потом производили саму деталь. Плата выступает в роли «фундамента», необходимого для дальнейшего спекания корпуса. На втором этапе происходит изготовление корпуса форкамеры. Печать производилась по ранее разработанной и утвержденной конструкторской документации. На третьем этапе происходит изготовление распылителя, спекание которого сопряжено с учетом параметров его сопел.

Результаты. Изготовлены экспериментальные образцы корпуса и распылителя разработанной форкамеры. После процесса печати деталей данные изделия доводили до требований конструкции, а именно, производили нарезание резьбы, на токарном станке, на корпусе форкамеры и распылителя. Применяли резьбу М26 и шероховатость Ra 12,5 мкм. Далее производилась шлифовка всех поверхностей корпуса форкамеры и распылителя (без внутренней обработки), до шероховатости Ra 6,3 мкм. Затем производили сверловку отверстий в распылителе. Конечной операцией является шлифовка конуса распылителя, шероховатость составила Ra 1,6 мкм. Далее производился контроль отверстий распылителя, не менее чем при 10-кратном увеличении, на чистоту поверхности и отсутствие заусенцев. В результате был получен экспериментальный образец готовый к испытаниям. В дальнейшем планируется установка предложенной форкамеры на двигатель со снятием эксплуатационных показателей и их последующим анализом.

Ключевые слова: сельскохозяйственное машиностроение, двигатель, форкамерное зажигание



Для цитирования: Жбанов Н.С. К вопросу изготовления модернизированной форкамеры высокопроизводительных двигателей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.2, С. 77-84 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.33.44.011](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.33.44.011)

Original article

ON THE ISSUE OF MANUFACTURING AN UPGRADED PRE-CHAMBER FOR HIGH-PERFORMANCE ENGINES

Nikita S. Zhbanov

Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia.

zbanovnikita25@gmail.com

Abstract.

Problem and purpose. The problem and the goal. Analyzing the issue of the use of engines, it should be noted that the most widespread are internal combustion engines used in ground transportation and technological facilities. As a result of previous studies, a number of disadvantages of such engines have been identified. The main one is that the ignition of the fuel mixture is not the best. To solve this problem, an upgraded design of the pre-chamber of high-performance engines was proposed. The corresponding calculations were carried out, theoretically confirming the improvement of the ignition process of the fuel mixture due to the use of the developed pre-chamber in the engine design. The next stage in determining the rationality of using the proposed pre-chamber is to conduct experimental studies, for this it is necessary to produce an experimental sample of the pre-chamber.

Methodology. The developed pre-chamber is an engine element responsible for the supply, mixing and ignition of fuel. These processes require special attention and quality control of the parts associated with them. The lack of proper precision in the manufacture of parts can negatively affect the efficiency of both the individual element and the engine as a whole. The SLM 280/2.0 printing press, which allows additive metal production, was chosen as the manufacturing equipment. The choice of this machine is due to the high printing accuracy, which allows an error of up to 5 microns. In addition, it should be noted that the selected equipment is capable of manufacturing parts up to 280x280x340 mm in size, given the dimensional characteristics of the proposed pre-chamber, the use of this machine for its manufacture is possible. The production of the pre-chamber takes place in three stages. At the first stage, during the powder scattering, the board was sintered, on which the part itself was then produced. The board acts as the "foundation" necessary for further sintering of the housing. At the second stage, the pre-chamber body is manufactured. The printing was carried out according to previously developed and approved design documentation. At the third stage, the sprayer is manufactured, the sintering of which takes into account the parameters of its nozzles.

Results. Experimental samples of the body and sprayer of the developed pre-chamber were made. After the printing process of the parts, these products were adjusted to the design requirements, namely, threading was performed on a lathe, on the body of the pre-chamber and sprayer. An M26 thread and a roughness of Ra 12.5 microns were used. Next, all surfaces of the pre-chamber body and the sprayer were sanded (without internal treatment) to a roughness of Ra 6.3 microns. Next, the holes in the sprayer were drilled. The final operation is the grinding of the spray cone, the roughness was Ra 1.6 microns. Next, the spray holes were monitored at least 10 times magnification, for surface cleanliness and absence of burrs. As a result, an experimental sample was obtained, ready for testing. In the future, it is planned to install the proposed pre-chamber on the engine, followed by the removal of performance indicators and their subsequent analysis.

Key words: agricultural machinery, engine, pre-chamber ignition

For citation: Zhbanov N.S. On the issue of manufacturing an upgraded pre-chamber for high-performance engines // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P.77-84 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.33.44.011](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.33.44.011)

Введение

Анализируя вопрос применения двигателей в агропромышленном комплексе, следует отметить, что наибольшее распространение получили двигатели внутреннего сгорания используемые в наземных транспортно-технологических средствах [1]. При этом, уступая по объемам, имеет место применение стационарных, высокопроизводительных двигателей-генераторов. Область применения высокопроизводительных двигателей обширна, а

мощность двигателя подбирается исходя из производственных нужд. Подобные двигатели успешно применяются в оборудовании для орошения полей; более мощные двигатели способны обеспечить бесперебойное функционирование доильных залов, а некоторые генерируют энергию в объемах, достаточных для поддержания в рабочем состоянии автономно функционирующих ферм. Отрасль двигателестроения безостановочно развивается, к основным векторам совершенствования следует



отнести: повышение мощностных характеристик, а также увеличение энергоемкости двигателей. За последние годы выбросы в атмосферу превысили критическую отметку [2]. Значительная доля от общего объема выбросов приходится на отработавшие в процессе функционирования двигателей газы. Исходя из этого, особо остро стоит вопрос экологичности. Следует отметить, что повышение надежности функционирования двигателей является одной из приоритетных задач, стоящих перед современными учеными. Проведенные и апробированные ранее исследования по работе высокопроизводительных двигателей позволили выявить некоторые несовершенства в процессе их работы. Особого внимания заслуживает воспламенение топливно-воздушной смеси, которое в настоящее время происходит не лучшим образом [3,4]. Автором предложена модернизированная конструкция форкамеры, позволяющая качественно улучшить воспламенение смеси. Основной отличительной особенностью форкамеры является геометрия полости горения. Она спроектирована таким образом, что внутри нее происходит формирование вихревых потоков, способствующих наилучшему перемешиванию горючего с кислородом и, как следствие, образованию топливной смеси [5,6,7]. За счет высокой степени ее однородности воспламенение происходит наилучшим образом. Для подтверждения выдвинутой гипотезы об улучшении процесса воспламенения за счет применения модернизированной форкамеры необходимо создание экспериментального образца с уточнением его типоразмерных характеристик.

Материалы и методы

Разработанная форкамера является элементом двигателя, отвечающим за подачу, смесеобразование и воспламенение горючего. Данные процессы требуют особого внимания и контроля за качеством деталей, сопряженных с ними. Отсутствие должной точности изготовления деталей может отрицательно сказаться на эффективности функционирования как отдельно взятого элемента, так и двигателя в целом [8,9,10]. Критическое несоответствие может привести к отказам, или выходам из строя двигателя без возможности восстановления. Важную роль играет материал, из которого изготавливается деталь, он должен удовлетворять требованиям надежности. Рассматривая данную деталь (форкамеру), следует отметить важность термостойкости применяемого материала [11]. Учитывая приведенные выше условия соответствия требованиям надежности, модернизированную форкамеру предлагается изготавливать по технологии селективного лазерного плавления металлических порошков.

Выбор данного материала и технологии обусловлен соответствием получаемого на выходе продукта требованиям надежности, в том числе термостойкости [11-14]. В качестве оборудования для изготовления была выбрана печатная машина SLM 280/2.0, позволяющая выполнять аддитивное производство металлом. Выбор данной машины обусловлен высокой точностью печати, которая допускает погрешность до 5 мкм. Кроме

того, следует отметить, что выбранное оборудование способно обеспечить изготовление деталей размерами до 280x280x340 мм. Учитывая размерные характеристики предлагаемой форкамеры, использование для ее изготовления данной машины является возможным. Ввиду отсутствия данного оборудования в непосредственном распоряжении института, по поводу изготовления разрабатываемой форкамеры отправлен запрос в подведомственную организацию. Изготовление производилось на выбранной печатной машине, представленной на рисунке 1. Ввод данных и контроль процесса изготовления производился оператором (инженером) организации.

Изготовление форкамеры происходит в три этапа. На первом этапе спекали плату, на которой потом производили саму деталь. Плата выступает в роли некоего «фундамента», необходимого для дальнейшего спекания корпуса. Поясняющий эскиз, демонстрирующий взаиморасположение изготавливаемых корпуса и платы, представлен на рисунке 2.



Рис.1 – Печатная машина SLM 280/2,0
Fig.1 – Printing press SLM 280/2.0



Рис.2 – Взаиморасположение платы и корпуса при спекании форкамеры

Fig.2 – The relative position of the board and the housing during the sintering of the pre-chamber

На втором этапе происходит изготовление корпуса форкамеры. Печать производилась по ранее разработанной и утвержденной конструкторской документации. Особый интерес представляет общий чертеж (ВО) и сборочный чертеж (СБ). На рисунке 3 представлен общий чертеж форкамеры с уточнением основных ее конструктивных элементов без размерных характеристик.

Исходя из того, что данная разработка представляет огромный интерес как в нашей стране,

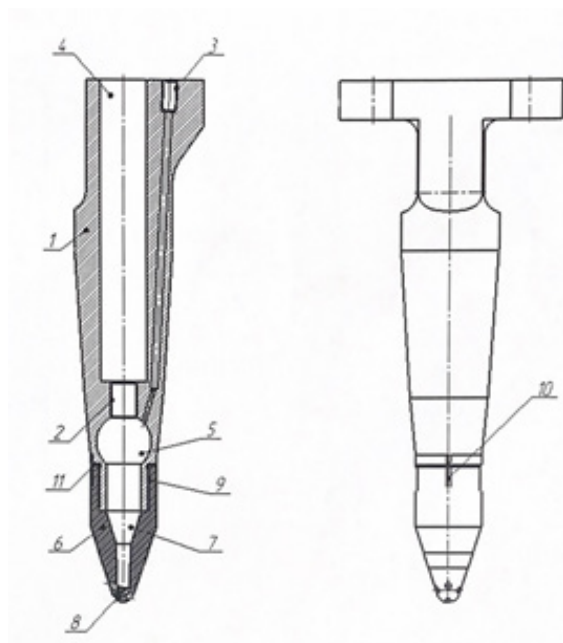


так и за рубежом, публикация ее размерных характеристик в данный момент нежелательна. Учитывая, что проводимые в настоящее время эксплуатационные испытания разработанной форкамеры не завершены, Коломенским заводом, на базе которого проводятся исследования, не рекомендовано распространение размерных характеристик форкамеры. Публикация данных показателей планируется после их корректировки и подтверждения их оптимальности по результатам испытаний.

На третьем этапе происходит изготовление

распылителя, спекание которого сопряжено с учетом параметров его сопел. На рисунке 4 представлен общий чертеж распылителя с разрезами, уточняющими параметры сопел.

Как видно из чертежа, представленного на рисунке 4, распылитель является сложным элементом [15]. При его изготовлении особое внимание уделяют разгонной полости горения, а также соплам. Для наиболее точного их расположения в теле распылителя, вместе с общим видом, на чертеже детали изображают три ее продольных сечения.



а – вид в разрезе; б – общий вид

- 1 – корпус; 2 – место установки свечи зажигания;
3 – канал подачи газа; 4 – канал установки высоко-
вольтного наконечника; 5 – шаровая полость горения;
6 – распылитель; 7 – разгонная полость горения фор-
камеры; 8 – сопла распылителя; 9 – резьба для соедине-
ния корпуса и распылителя;
10 – метки для правильного выставления сопел рас-
пылителя; 11 – регулировочные прокладки
для совпадения меток

Рис.3 – Общая схема разработанной форкамеры

- 1 – housing; 2 – spark plug installation location; 3 – gas
supply channel; 4 – high-voltage tip installation channel;
5 – spherical combustion cavity; 6 – atomizer;
7 – pre-chamber combustion chamber; 8 – atomizer
nozzles; 9 – thread for connecting the housing and the
atomizer; 10 – marks for proper setting the spray nozzles;
11 – adjusting gasketsto match the labels

Fig.3 – The general scheme of the developed pre-chamber

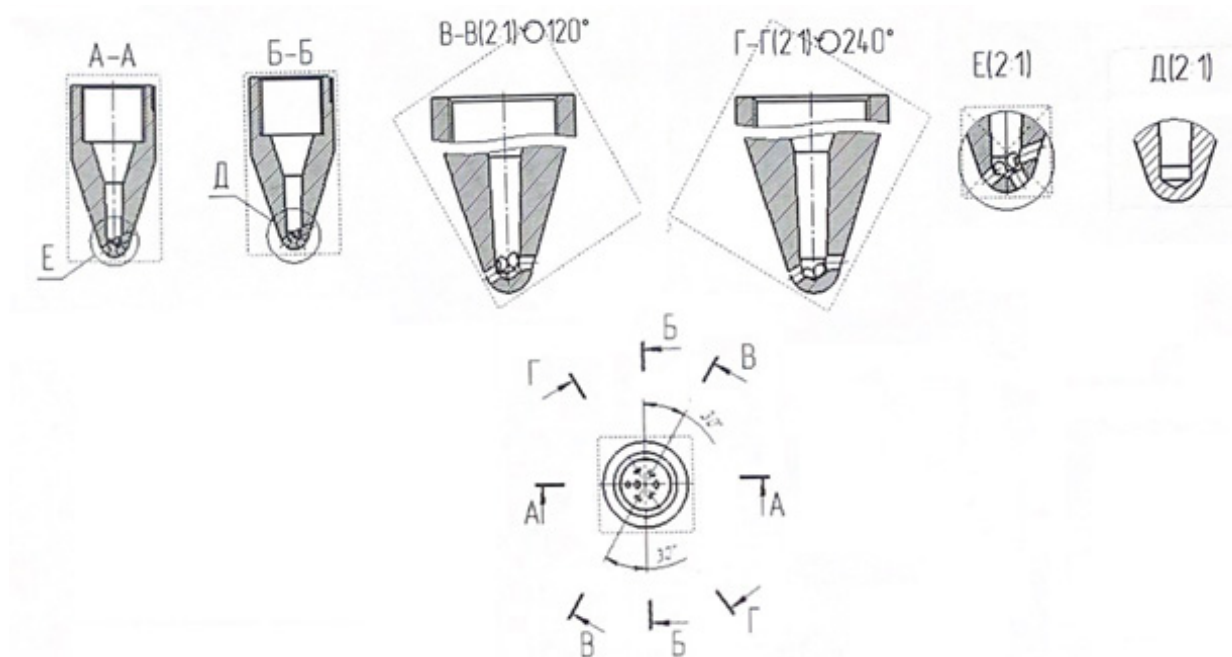


Рис.4 – Распылитель разработанной форкамеры

Fig.4 – Sprayer of the developed pre-chamber



Результаты исследований

Как отмечалось ранее, спекание является сложным процессом, в котором следует учитывать особенности каждой детали. Рассматривая разработанную форкамеру, следует отметить, что при изготовлении корпуса существует необходимость в дополнительных (поддерживающих) элементах, способствующих оптимальному формообразованию [16]. При спекании корпуса форкамеры изготавливали специальные «стержни» для поддержки вертикальности детали и повышения точности печати. Наружные поддерживающие элементы представлены на рисунке 5.

Поддержки выполняли не только снаружи детали, но и изнутри. Стоит отметить, что поддерживающие «стержни» после окончания печати, спекания и остывания высверливали. По тому же принципу происходит и печать распылителей, но в силу того, что данные распылители имеют малую высоту, данные поддержки для них не выполняются. На рисунке 6 представлен процесс изготовления корпуса и распылителя на печатной машине SLM 280/2,0.

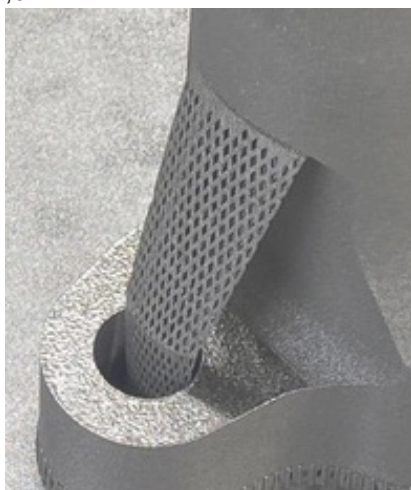
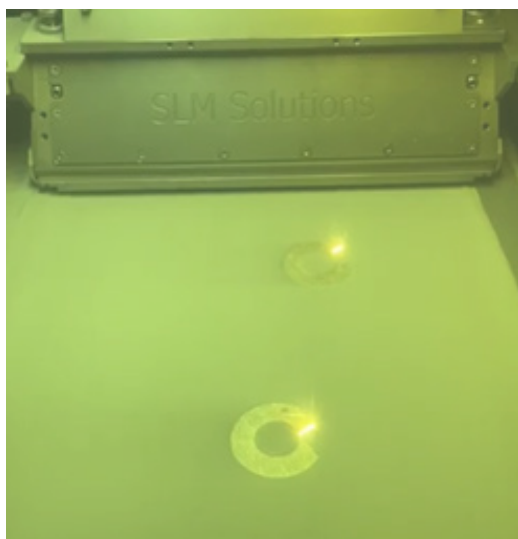


Рис. 5 – Поддерживающие элементы
Fig.5 – Supporting elements



а



б

а – печать корпуса; б – печать распылителя
Рис.6 – Процесс печати разработанной форкамеры

Fig.6 – The printing process of the developed pre-chamber

В процессе печати были изготовлены экспериментальные образцы корпуса и распылителя разработанной форкамеры. Результаты спекания представлены на рисунке 7.



а



б

а – корпус; б – распылитель
Рис.7 – Экспериментальный образец корпуса и распылителя разработанной форкамеры
Fig.7 – An experimental sample of the body and sprayer of the developed pre-chamber

Для подтверждения возможности увеличения длины распылителя при печати на оборудовании SLM 280/2,0 изготавливали распылители разной высоты. Следует отметить, что для данной детали поддерживающие элементы не требовались. Напечатанные распылители представлены на рисунке 8.



Рис.8 – Напечатанные распылители
Fig.8 – Printed Sprayers

После процесса печати деталей данные изделия начинали доводить до требований конструкции, а именно, производили нарезание резьбы на токарном станке на корпусе форкамеры и распылителя. Применяли резьбу М26 и шероховатость Ra 12,5 мкм (рис. 9).



Рис.9 – Выполненная на корпусе и распылителе резьба
Fig.9 – The thread made on the body and the sprayer

Далее производилась шлифовка всех поверхностей корпуса форкамеры и распылителя (без внутренней обработки), до шероховатости Ra 6,3 мкм. Затем производили сверловку отверстий в распылителе. Конечной операцией является шлифовка конуса распылителя, шероховатость Ra 1,6 мкм. Далее производился контроль отверстий распылителя, не менее чем при 10-кратном увеличении, на чистоту поверхности и отсутствие заусенцев. Конечный вид разработанной форкамеры представлен на рисунке 10. Корпус и распылитель промывали в дизельном топливе, давлением не менее 1 бар, заворачивали в маслобензостойкую бумагу.

Изготовленная форкамера соответствует техническому заданию и готова к дальнейшим экспериментальным исследованиям, подтверждающим надежность и эффективность применения разработанной детали для последующего ввода в эксплуатацию.



Рис.1 – 10 Разработанная форкамера
Fig.10 – Developed pre-chamber

Заключение

Изготовлен экспериментальный образец, готовый к испытаниям. В дальнейшем планируется установка предложенной форкамеры на двигатель 8ГМГ или Д49, с последующим снятием эксплуатационных показателей и дальнейшим их анализом. Также рассматривается вопрос о проведении развернутого эксперимента, включающего в себя испытание 16 форкамер совместно с модернизированными фильтрами.

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. Ваншейдт В. А. Дизели / В. А. Ваншейдт, Н. Н. Иванченко, Л. К. Коллеров / — Ленинград: Машиностроение, 1977 — 480 с.
3. Ионов В.Г. Исследование отдельных стадий форкамерного зажигания с помощью кинематографического анализа / В.Г. Ионов. — 1990. — № 2.
4. Жбанов Н.С. Исследование процесса воспламенения топливно-воздушной смеси в современных двигателях / Н.С. Жбанов, Н.Е. Попков, А.Д. Чернышев, С.И. Официн, О.В. Кирьяков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. — 2024.
5. Жбанов Н.С. Исследование процесса воспламенения в двигателях внутреннего сгорания оборудованных модернизированной форкамерой / Н.С. Жбанов, Н.Е. Попков, А.Д. Чернышев, Д.В. Колошеин, И.А. Ильчук // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. — 2025.
6. Жбанов Н.С. Исследование процесса горения в двигателях внутреннего сгорания оборудованных модернизированной форкамерой / Н.С.



Жбанов, А.Д. Чернышев, Н.Е. Попков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2024.

7. Жбанов Н.С. Сравнительный анализ расчетных показателей разработанной форкамеры и ее современных аналогов / Н.С. Жбанов, А.Д. Чернышев, С.Н. Кулик, Н.Е. Попков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2025.

8. 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.

9. Рыжов, В.А. Четыре поколения двигателей типоразмерного ряда Д49 / В.А.

Рыжов // Двигателестроение. — 2020. — № 4(282). — С. 35–40

10. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / Издание второе, переработанное. — Москва: Государственное энергетическое издание, 1961 — 675 с.

11. Шукин, В. К. Термодинамика и теплопередача / Издание третье, переработанное. — Москва:

Высшая школа, 1991 — 480 с.

12. 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.

13. Дьяченко Н.Х. Теория ДВС/ Рабочие процессы издание второе, дополнительное и переработанное. Ленинградское отделение издательства «Машиностроение», 1974 — 551 с.

14. 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.

15. Никитин Е. М. Теоретическая механика / Издание двенадцатое исправленное — МОСКВА: «НАУКА», 1988 — 336 с.

16. Сучков О. К. Технология металлов и конструкционные материалы/ О. К. Сучков, И. А. Чернышев, С. У. Мурашкин, и др. — Издание третье дополненное и переработанное. — Москва: «МЕТАЛЛУРГИЯ», 1974 — 443.

References

1. Dem'yanov L. A., Puti povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti avtotraktornykh dvigateley/ L. A. Dem'yanov, S. K. Sarafanov// — Moskva: Voenizdat, 1967 — 152 с.

2. Vansheydt V. A. Dizeli/ V. A. Vansheydt, N. N. Ivanchenko, L. K. Kollerov/— Leningrad: Mashinostroyeniye, 1977 — 480 с.

3. Ionov V.G. Issledovaniye otdel'nykh stadiy forkamernogo zazhiganiya s pomoshch'yu kinematograficheskogo analiza/ V.G. Ionov. — 1990. — № 2.

4. Zhbanov N.S. Issledovaniye protsessa vosplameneniya toplivno-vozdushnoy smesi v sovremennykh dvigatelyakh/ N.S. Zhbanov, N.Ye. Popkov, A.D. Chernyshev, S.I. Ofitsin, O.V. Kir'yakov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. — 2024.

5. Zhbanov N.S. Issledovaniye protsessa vosplameneniya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya oborudovannykh modernizirovannoy forkameroi / N.S. Zhbanov, N.Ye. Popkov, A.D. Chernyshev, D.V. Koloshein, I.A. Il'chuk // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. — 2025.

6. Zhbanov N.S. Issledovaniye protsessa goreniya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya oborudovannykh modernizirovannoy forkameroi / N.S. Zhbanov, A.D. Chernyshev, N.Ye. Popkov // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. — 2024.

7. Zhbanov N.S. Sravnitel'nyy analiz raschetnykh pokazateley razrabotannoy forkamery i yeye sovremennykh analogov / N.S. Zhbanov, A.D. Chernyshev, S.N. Kulik, N.Ye. Popkov // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. — 2025.

8. Chaynov N.D. Prochnost' teplotnoprzhennykh bazovykh detaley sredneoborotnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya// N.D. Chaynov, M.I. Rayenko, V.A. Ryzhov. — Moskva: Mashinostroyeniye, 2015 - 360 s.

9. Ryzhov, V.A. Chetyre pokoleniya dvigateley tiporazmernogo ryada D49/ V.A. Ryzhov // Dvigatelayestroyeniye. — 2020. — № 4(282). — С. 35–40

10. Deych M.Ye. Tekhnicheskaya gazodinamika / Izdaniye vtoroye, pererabotannoye. — Moskva: Gosudarstvennoye energeticheskoye izdaniye, 1961 — 675 с.

11. Shchukin, V. K. Termodinamika i teplotperedacha/ Izdaniye tret'ye, pererabotannoye. — Moskva: Vysshaya shkola, 1991 — 480 с.

12. 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.

13. D'yachenko N.KH. Teoriya DVS/ Rabochiye protsessy izdaniye vtoroye, dopolnitel'noye i pererabotannoye. Leningradskoye otdeleniye izdatel'stva «Mashinostroyeniye», 1974 — 551 с.

14. Sechin A.I. Teoriya goreniya i vzryva: uchebnoye posobiye / V.A. Perminov, O.B. Nazarenko i dr. / Tomskiy politekhnicheskii universitet. — Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2020. — 162 s.

15. Nikitin Ye. M. Teoreticheskaya mekhanika / Izdaniye dvenadtsatoye ispravlennoye — MOSKVA: «NAUKA», 1988 — 336 с.



16. Suchkov O. K. *Tekhnologiya metallov i konstruktsionnyye materialy*/ O. K. Suchkov, I. A. Chernyshev, S. U. Murashkin, i dr. — *Izdaniye tret'ye dopolnennoye i pererabotannoye*. — Moskva: «METALLURGIYA», 1974 — 443

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Жбанов Никита Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроение, энергетика и автомобильный транспорт», Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия, zbanovnikita25@gmail.com

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

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 10.06.2026.

The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.356.4
DOI: 10.36508/RSATU.2025.99.25.012

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДКАПЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

Антон Сергеевич Колотов¹✉, Дмитрий Михайлович Юмаев², Александр Андреевич Кутыраев³, Олег Владимирович Филюшин⁴, Александр Игоревич Ушанев⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ anton.kolotov.89@mail.ru

² yumaeb@yandex.ru

³ kutyraev@bk.ru

⁴ olegfil93@mail.ru.

⁵ aushaniev@inbox.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было установление функционирования дисковых компонентов в подкапывающем механизме картофелеуборочных агрегатов, что является ключевым аспектом в улучшении методик сбора картофеля с полей в контексте массового внедрения континуальных методов обработки почвы в России. Производительность сбора урожая напрямую зависит от эффективности работы машин для уборки картофеля, в частности, от качества их подкапывающих компонентов.

Методология. Для анализа функций и эффективности дисковых компонентов был использован комплекс методов, включая экспериментальные проверки, что обеспечило всестороннее изучение и достоверные сведения об их свойствах и рабочей мощности. Внимание ученых привлекает не только механический аспект, но также влияние подкапывающих элементов на экономичность агропромышленного производства клубней. Исследование этих компонентов дает возможность идентифицировать аспекты для улучшения операций и усовершенствования работоспособности сельскохозяйственной техники. Оптимальные диаметры и углы установки дисков, определенные экспериментально, способствуют лучшей работе оборудования.

Результаты. Важно отметить, что результаты этих работ ценны как для разработчиков агротехники, так и для аграриев, стремящихся усовершенствовать сбор урожая. Корректная конфигурация дисков существенна для итоговой эффективности и позволяет более продуктивно использовать машины. Понимание этих аспектов может способствовать значительному прогрессу в агросекторе. Создание новых техник и подходов в настройке дисковых компонентов агротехники становится все более значимой областью.

Заключение. Полученная информация подчеркивает необходимость дополнительных исследований в этом сегменте. Усовершенствование процедур эксплуатации агроустройств сильно воздействует на увеличение их работоспособности и эффективности, что напрямую сказывается на продуктивности сельского хозяйства. Ключевым является внимание как к самим машинам, так и к технологиям и методам, способным повысить их функциональность.

Ключевые слова: картофель, приемная часть, картофелеуборочный комбайн, подкапывающий рабочий орган, анализ, эксплуатация

Для цитирования. Колотов А.С., Юмаев Д.М., Кутыраев А.А., Филюшин О.В., Ушанев А.И. Совершенствование подкапывающих органов картофелеуборочных машин. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.85-92 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.99.25.012>

Original article

IMPROVEMENT OF THE DIGGING ORGANS OF POTATO HARVESTING MACHINES

Anton S. Kolotov¹✉, Dmitry M. Yumaev², Alexander A. Kutyraev³, Oleg V. Filyushin⁴, Alexander I. Ushanev⁵

¹ anton.kolotov.89@mail.ru² yumaeb@yandex.ru³ kutyraev@bk.ru⁴ olegfil93@mail.ru.⁵ aushaniev@inbox.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The purpose of this study was to establish the functioning of disk components in the digging mechanism of potato harvesting units, which is a key aspect in improving potato harvesting methods from fields in the context of the mass introduction of continuous soil cultivation methods in Russia. The productivity of harvesting methods directly depends on the efficiency of potato harvesting machines, in particular on the quality of their digging components.

Methodology. A set of methods, including experimental tests, were used to analyze the functions and efficiency of the disk components, which provided a comprehensive study and reliable information about their properties and operating capacity. The attention of scientists is drawn not only to the mechanical aspect, but also to the impact of the digging elements on the cost-effectiveness of agro-industrial tuber production. The study of these components makes it possible to identify aspects for improving operations and improving the performance of agricultural machinery in general. Optimum diameters and installation angles of disks, determined experimentally, contribute to better equipment operation

Results. It is important to note that the results of these studies are valuable both for agricultural machinery developers and for farmers seeking to improve harvesting. Correct disc configuration is essential for the final efficiency and allows for more productive use of machines. Understanding these aspects can contribute to significant progress in the agricultural sector. The development of new techniques and approaches to configuring disc components of agricultural machinery is becoming an increasingly important area.

Conclusion. The information obtained highlights the need for additional research in this segment. Improving the operating procedures of agricultural equipment has a strong impact on increasing their performance and efficiency, which directly affects agricultural productivity. The key is attention to both the machines themselves and to the technologies and methods that can improve their functionality.

Key words: potatoes, receiving part, potato harvester, digging working element, analysis, operation

For citation. Kolotov A.S., Yumaev D.M., Kutyraev A.A., Filyushin O.V., Ushanev A.I. Improvement of digging organs of potato harvesting machines // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P. 85-92 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.99.25.012](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.99.25.012)

Введение

Удовлетворение продовольственных потребностей населения России представляет собой ключевую задачу в стратегии долгосрочного развития агропромышленного сектора страны.

Для реализации поставленных задач был создан набор законодательных регуляций, содержащий Доктрину продовольственной безопасности РФ 2025, Стратегию национальной безопасности РФ, а также Стратегию экономической безопасности РФ до 2030 года.

Анализ данных демонстрирует, что сельскохозяйственный сектор Российской Федерации эффективно исполняет и даже превосходит заданные Правительством РФ в рамках Доктрины продовольственной безопасности показатели самообеспеченности в таких сегментах, как производство зерновых, растительных масел, мяса и продуктов мясной промышленности.

Однако, с учетом нынешних мировых политических напряженностей и отсутствием автономного производства в родственных секторах, существенных перемен в ближайшем будущем ожидать не приходится.

Вывод из первоначального анализа указывает на то, что внедрение научных разработок и технических инноваций в области улучшения методов выращивания картофеля и оборудования, необхо-

димого для этого процесса, обещает быть многообещающим направлением современности [3].

В крупных агрокомплексах России, специализирующихся на выращивании картофеля, предпочтение отдаётся сельскохозяйственной уборочной технике от известных производителей: Grimme и AVR.

Исследование недочетов функционирования машин для уборки картофеля [6, 7] и изучение их влияния, особенно в свете нарушения определенных агротехнических стандартов, привело к созданию нескольких технологических усовершенствований [8, 9, 10].

Классифицируя аппараты по группам на основе оптимизируемых параметров – уменьшения урона, снижения потерь урожая и увеличения чистоты сбора, получаем следующую картину:

- для минимизации ущерба клубням были созданы отдельные рабочие элементы с механизмами ограничения их взаимодействия с конструктивными частями рамы картофелеуборочных агрегатов [11, 12];

- для улучшения качества картофельной массы используют активные интенсификаторы сепарации;

- чтобы сократить потери клубней, используют обновленные сепарирующие выносные устройства и улучшенные перегрузочные механизмы.



Подкапывание пласта при сборе картофеля [1] относится к задачам, требующим значительных усилий, и имеет первостепенное значение. Эффективность функционирования подкапывающего оборудования напрямую влияет на производительность последующих этапов работы картофелеуборочных машин и комбайнов. Учитывая это обстоятельство, становится очевидным, что дальнейшее улучшение проектов подкапывающих устройств представляет собой значимый и стратегический интерес для развития аграрного сектора.

Оптимизация конструкций подкапывающих механизмов требует нахождения параметров их компонентов, разработки инновационных инженерных решений, которые позволят уменьшить энергетические и трудовые затраты.

Наиболее эффективными в плане сокращения энергопотребления являются пассивные диски с почвозацепами.

Таким образом, очевидно, что проектирование и аргументация характеристик дисковых устройств в картофелеуборочном агрегате представляет собой важную научно-инженерную проблему для развития отечественного агропромышленного комплекса.

Вопреки преимуществам, предоставляемым боковыми дисками, внедрение активных дисковых систем увеличивает сложность устройств для подкапывания клубненосного пласта. Использование же пассивных дисков, особенно на влажных почвах, часто приводит к скольжению по поверхности земли, нарушая качество среза растительности. К тому же влажная почва и растительные остатки, прилипая к дискам, приводят к накоплению массы на их поверхности, в итоге увеличивая сопротивление в процессе тяги.

На протяжении многих лет в агротехнической отрасли, особенно при разработке машин для уборки картофеля, инженеры внедряют диски, оборудованные зубцами. Эти элементы являются ключевыми для обеспечения эффективного разрезания и перемещения почвенного покрова в процессе работы.

В процессе изучения операций по сбору урожая картофеля мы оценили энергетические затраты, применяемые современные технологии. Анализировались этапы подготовки почвы весной и сбор урожая разными моделями комбайнов.

В области конструкций картофелеуборочной техники анализ теоретических обзоров и технологических выкладок позволяет понять, что не все машины потребляют энергию одинаково. Оценка эффективности машин традиционно базируется на их способности качественно выполнять определенные задачи. Однако на сегодняшний день наблюдается растущий интерес к оптимизации энергетических расходов. Эти расходы могут быть измерены в терминах мощности, необходимой для выполнения определенного технологического процесса. При сопоставимом уровне качества работы потребление мощности варьируется как в конкретных числах, так и в пропорциональных соотношениях и значительно зависит от структур-

ных характеристик и режимов работы уборочной техники. Этот вывод подтверждается анализом энергетического баланса на основе проведенных исследований.

Анализ проведенных исследований показывает, что при эксплуатации картофелеуборочных машин основные энергетические затраты распределяются следующим образом: сепарация почвы из перерабатываемой массы потребляет 35-45 % энергии, выкапывание почвенного слоя и его последующая транспортировка к сепарирующему механизму занимают 20-31 % энергопотребления, в то время как перемещение уборочной техники по полям составляет 15-24 % от общих затрат на энергию, а также 4-10 % энергии используется для удаления ботвы. Оставшаяся энергия распределяется между другими процессами в технологическом цикле и не превышает 13-17 %. Среди известных методов сокращения энергопотребления в картофелеуборочной технике выделяют:

- применение передовых интенсивных методов культивации картофеля ведет к улучшению производительности картофелеуборочной техники;

- уменьшение энергопотребления, используемого на процесс подкопа. Для обработки почвы с клубнями в подкапывающих агрегатах используются активированные диски. Они генерируют увеличенное силовое воздействие.

Разработка инновационных агрегатов с функцией экономии энергии, отвечающих актуальным нормам и стандартам, требует анализа множества аспектов, влияющих на эффективность энергопотребления и оперативные характеристики аппаратуры (качество сбора урожая, его потери и повреждения). Сегодня детально рассмотрено не воздействие индивидуальных параметров оборудования, а их совокупное взаимодействие при различных внешних возмущениях. В этой связи было проведено тщательное изучение работы подкапывающих механизмов методами компьютерного моделирования для глубокого анализа влияния на потребление энергии данных элементов в контексте производственной линии машин для уборки картофеля.

Материалы и методы исследования

Внедрение зубцов или почвозацепов по периферии диска, хотя и усложняет его, но значительно повышает эффективность процесса измельчения земли и последующего ее перемещения вдоль рабочей поверхности лемеха.

При одновременном прямолинейном перемещении и вращательном движении диска каждая точка А на его боковой поверхности испытывает двойное воздействие трения со стороны земли. Прежде всего, на неё оказывает влияние сила трения F_1 , ориентированная в противоположную сторону от направления линейного движения диска. В дополнение, существует сила трения F_2 , действующая в обратном направлении к касательной скорости вращательного движения диска.

Момент силы трения, действующий на бесконечно малую площадь в точке А на диске, вычис-



ляется с использованием формулы (1),

$$dM_{\text{дис.эл.}} = 2 \cdot dF \cdot \frac{\rho_A}{V_A} \cdot (V \cdot \cos \alpha_A - \omega \rho_A), \quad (1)$$

где dF представляет собой элементарную силу трения, измеряемую в ньютонах;

ρ_A – радиальное расстояние до точки А на диске, измеряемое в метрах;

α_A – угловой параметр, определяющий положение точки А на радиусе, в градусах;

V – скорость линейного перемещения устройства, измеряемая в метрах в секунду.

V_A – линейная скорость точки А на диске, измеряемая в метрах в секунду.

ω – угловая скорость, измеряемая в радианах на секунду (рад/с), характеризующая вращение диска.

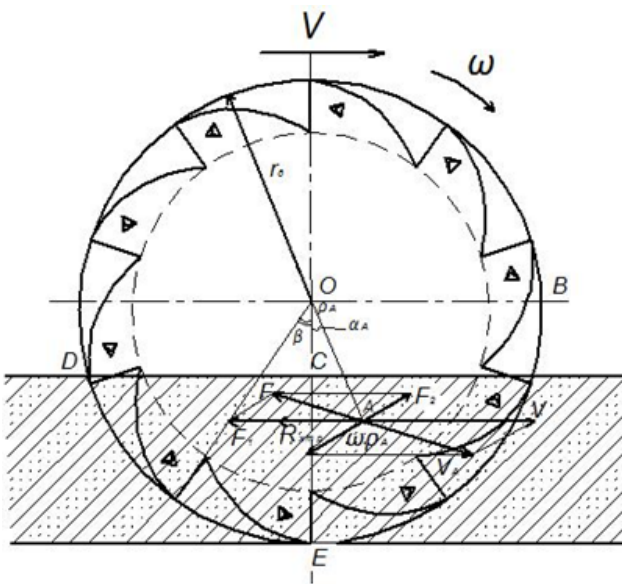


Рис. 1 – Расчётная схема сил, действующих на диск, работающий в пассивном режиме
Fig. 1 – Calculation scheme of forces acting on a disk operating in passive mode

Скорость точки А диска определяется уравнением (2).

$$V_A = \sqrt{(\omega \cdot \rho_A)^2 + V^2 - 2 \cdot \omega \cdot \rho_A \cdot V \cdot \cos \alpha_A}, \quad (2)$$

dS – элементарная площадь, m^2 .

$$dS = \rho_A \cdot d\alpha_A \cdot d\rho_A, \quad (3)$$

тогда выражение (1) примет вид:

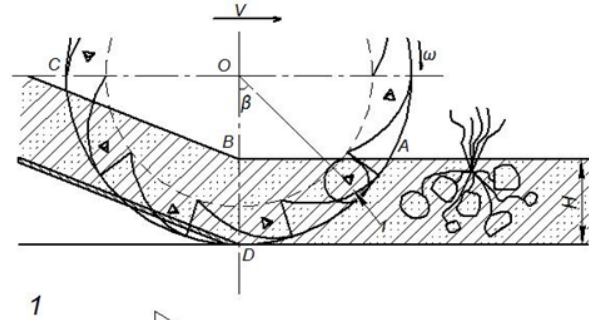
$$dM_{\text{дис.}} = 2 \cdot p \cdot f_{\text{мп}} \cdot \rho_A^2 \cdot d\rho_A \cdot d\alpha_A \cdot \frac{V \cdot \cos \alpha_A - \omega \cdot \rho_A}{\sqrt{\omega^2 \cdot \rho_A^2 + V^2 - 2 \cdot \omega \cdot \rho_A \cdot V \cdot \cos \alpha_A}} =$$

$$= 2 \cdot p \cdot f_{\text{мп}} \cdot \rho_A^2 \cdot d\rho_A \cdot d\alpha_A \cdot \frac{V \cdot \cos \alpha_A - \omega \cdot \rho_A}{\sqrt{\omega \cdot \rho_A (\omega \cdot \rho_A - 2V \cdot \cos \alpha_A) + V^2}} \quad (4)$$

В интегральной форме выражение (5) примет вид

$$M_{\text{общ.}} = M_{\text{дис.}} + M_{\text{поч.}} \quad (5)$$

Результаты исследований и их обсуждение



H – проникновение диска в почву, измеряемое в метрах; N_c – интенсивность сопротивления почвы по площади, выраженная в ньютонах на квадратный метр; $F_{\text{тр}}$ – общая сила трения, измеряемая в ньютонах.
Рис. 2 – Диаграмма для вычисления момента и тягового усилия, возникающего из-за трения между почвозацепом и почвой

Fig. 2 – Diagram for calculating the torque and traction force resulting from friction between the lug and the soil

Общее тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности зубчатого диска и почвозацепов, будет иметь вид:

$$R_{\text{хобщ}} = R_x + R_{\text{хпоч}} =$$

$$= \frac{2 \cdot Q_{\text{п.ч.}} \cdot H \cdot \Psi}{\left[\frac{r \cdot \Psi}{\lambda} + \frac{1}{\sin \tau} \cdot \left(\left(r - \frac{r \cdot \Psi}{\lambda} \right) \cdot \Psi \cdot \sin \tau + \text{tg} \tau \cdot (e^{\Psi \cdot \text{ctg} \tau} - 1) \right) \right] \cdot (\pi - 2 \arcsin \frac{r - H}{r})} +$$

$$+ f_{\text{тр}} \cdot N_c \cdot \sum_{i=z} S_n \cdot \sin \beta_i. \quad (6)$$

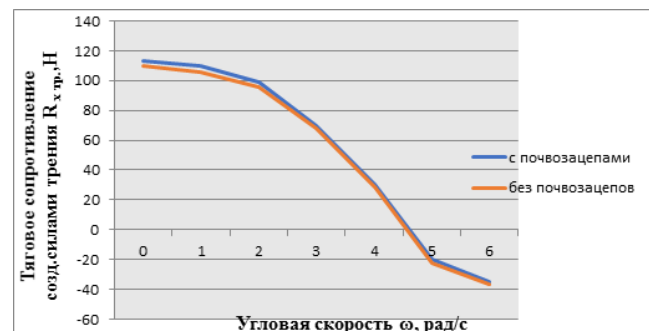


Рис. 3 – Теоретическая зависимость тягового сопротивления, создаваемого силами трения на поверхности зубчатого диска

Fig. 3 – Theoretical dependence of traction resistance created by friction forces on the surface of a toothed disk

Момент, создаваемый почвозацепами, выразим формулой:



$$M_{\text{поч.}} = \left(r_{\delta} - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z'} S_n, \quad (7)$$

где: $\sum_{i=Z'} S_n$ – суммарная площадь почвозацепов, м²;

$r_{\delta} - \frac{h_n}{2}$ – плечо действия силы, м;

N_c – удельная сила сопротивления почвы, Н/м².

Величина крутящего момента, создаваемого почвозацепами на диске, зависит от твердости почвы N_c .

Разработано программное обеспечение, предназначенное для визуализации и анализа характеристик выкапывающих элементов картофелеуборочного оборудования. В тексте программы указываются характеристики, такие как длина рычага и площадь зацепления с почвой. В ходе её функционирования программа отображает результаты расчетов момента силы, генерируемого почвозацепом, зависящего от глубины проникновения в почву и её плотности, в форме таблицы

(рисунки 4-5), а также строит график, основанный на этих результатах. Данное программное решение может быть адаптировано для использования с различными моделями машин для уборки картофеля.



Рис. 4 – Программа визуализации расчета крутящего момента почвозацепа

Fig. 4 – Program for visualization of calculation of the torque of the lug

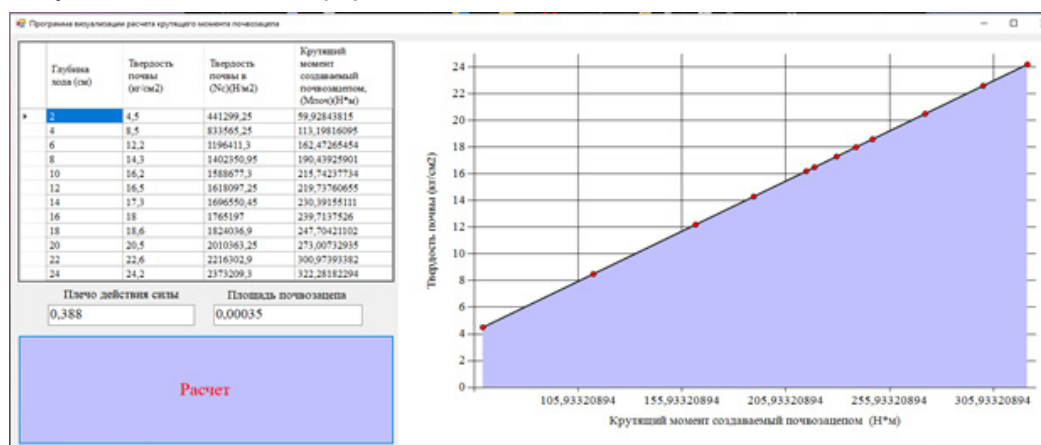


Рис. 5 – Крутящий момент создаваемый почвозацепом Н*М

Fig. 5 – Torque generated by the lug Н*М

При вычислении величины крутящего момента, генерируемого почвозацепами на диске, используется уравнение 7, где три ключевых элемента (общая поверхность зацепов, расстояние до точки приложения силы, коэффициент проникновения в почву) варьируются в зависимости от диаметра диска, габаритов элементов зацепа и характеристик грунта.

Мы предлагаем осуществить теоретический анализ влияния глубины погружения диска на величину тягового сопротивления.

Для начального анализа рекомендуется применить схему определения твердости, разработанную Г.Д. Синеоковым.

Для первого исследования принимаем площадь почвозацепа и плечо действия силы как неизменные величины, таким образом можно вычислить изменение крутящего момента, создаваемого почвозацепом в зависимости от твердости почвы, а значит и глубины хода (табл. 1.)

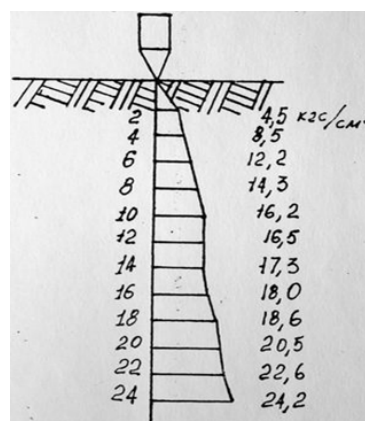


Рис. 6 - Осредненная диаграмма твердости глинистого предкавказского чернозема в период междурядной обработки подсолнечника (по данным Г. Д. Синеокова)

Fig. 6 - Average diagram of the hardness of clayey pre-Caucasian chernozem during the period of inter-row tivation of sunflower (according to data from G.D. Sineokov)



Таблица – Таблица переменных данных к формуле

Глубина хода, см	Твердость почвы, кг/см ²	Твердость почвы, Н/м ² (Nc)	Плечо действия силы, м (rd-hn/2)	Длина стороны почвозацепа, м	Площадь почво-зацепа, м ² (Sn)
2	4,5	441299,3	0,3	0,01	0,00004
4	8,5	833565,3	0,325	0,02	0,00017
6	12,2	1196411	0,350	0,03	0,00039
8	14,3	1402351	0,375	0,04	0,00069
10	16,2	1588677	0,4	0,05	0,00108
12	16,5	1618097	0,425	0,06	0,00156
14	17,3	1696550	0,450	0,07	0,00212
16	18	1765197	0,475	0,08	0,00277
18	18,6	1824037	0,5	0,09	0,00351
20	20,5	2010363	0,525	0,1	0,00433
22	22,6	2216303	0,55	0,11	0,00524
24	24,2	2373209	0,575	0,12	0,00624

**** В формуле участвуют только переменные из столбцов 3,4,7 таблицы**



Рис. 7 - Диаграмма крутящего момента в зависимости от глубины хода
Fig. 7 - Torque diagram depending on stroke depth

Опираясь на теоретические расчеты, построим диаграмму, демонстрирующую взаимосвязь крутящего момента диска, оборудованного почвозацепами, с учетом глубины проникновения при определенных параметрах и размерах дисков и почвозацепов.

Закключение

Из результатов теоретического анализа следует, что интеграция пассивных дисков с землеройными элементами в конструкцию подкапывающих устройств картофелеуборочного оборудования, несмотря на небольшой рост тяговых потерь, способствует улучшению вращения дисков. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности их функционирования за счет улучшения измельчения и равномерного распределения клубнеплодного слоя по сепарирующим элементам машины.

Список источников

1. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин / И. А. Успенский, И.

А. Юхин, А. В. Мачнев, А. А. Голиков // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 2(284). – С. 27-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-2-27-31. – EDN AACTAF.

2. Инновационные решения снижения повреждений и потерь клубней при уборке и хранении картофеля / Р. В. Безносюк, И. А. Успенский, Н. Ю. Харламова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 188. – С. 250-260. – DOI 10.21515/1990-4665-188-020. – EDN BZQCAA.

3. Modern physical methods and technologies in agriculture / S. V. Gudkov, R. M. Sarimov, M. E. Astashev [et al.] // Physics-Uspekhi. – 2024. – Vol. 67, No. 2. – P. 194-210. – DOI 10.3367/ufne.2023.09.039577. – EDN VIVMLC.

4. Результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки картофеля / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов, А. В. Сибирев [и др.] // Вестник российской сель-



скохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 108-112. – DOI 10.31857/S2500208224060239. – EDN WRVAEN.

5. Успенский, И. А. Исследование причин возникновения повреждений клубней картофеля при их загрузке в транспортное средство / И. А. Успенский, И. А. Юхин, А. А. Голиков // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 10(268). – С. 26-29. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-10-26-29. – EDN ACPKMX.

6. Снижение повреждаемости сельскохозяйственной продукции (на примере картофеля) при использовании пневмоконтейнера / И. А. Успенский, И. А. Юхин, А. В. Шемякин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – №

1(37). – С. 104-108. – EDN XPSNCH.

7. Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля / А. В. Сибирев, М. А. Мосьяков, Н. В. Сазонов [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 4. – С. 107-112. – DOI 10.31857/S2500208224040216. – EDN XJMGIW.

8. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна / И. А. Успенский, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Р. В. Безносук // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1(49). – С. 262-269. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269. – EDN YZKHBJ.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Formirovaniye kompleksa kartofeleuborochnykh i transportnykh mashin / I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, A. V. Machnev, A. A. Golikov // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2021. – № 2(284). – S. 27-31. – DOI 10.33267/2072-9642-2021-2-27-31. – EDN AACTAF.

2. Innovatsionnyye resheniya snizheniya povrezhdeniy i poter' klubney pri uborke i khraneniі kartofelya / R. V. Beznosyuk, I. A. Uspenskiy, N. YU. Kharlamova [i dr.] // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 188. – S. 250-260. – DOI 10.21515/1990-4665-188-020. – EDN BZQCAA.

3. Modern physical methods and technologies in agriculture / S. V. Gudkov, R. M. Sarimov, M. E. Astashev [et al.] // Physics-Uspexhi. – 2024. – Vol. 67, No. 2. – P. 194-210. – DOI 10.3367/ufne.2023.09.039577. – EDN VIVMLC.

4. Rezul'taty laboratorno-polevykh issledovaniy separiruyushchey sistemy mashiny dlya uborki kartofelya / YA. P. Lobachevskiy, A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev [i dr.] // Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki. – 2024. – № 6. – S. 108-112. – DOI 10.31857/S2500208224060239. – EDN WRVAEN.

5. Uspenskiy, I. A. Issledovaniye prichin vozniknoveniya povrezhdeniy klubney kartofelya pri ikh zagruzke v transportnoye sredstvo / I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, A. A. Golikov // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2019. – № 10(268). – S. 26-29. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-10-26-29. – EDN ACPKMX.

6. Snizheniye povrezhdayemosti sel'skokhozyaystvennoy produktsii (na primere kartofelya) pri ispol'zovanii pnevmokonteynera / I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, A. V. Shemyakin [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. – № 1(37). – S. 104-108. – EDN XPSNCH.

7. Energoberegayushchaya tekhnologiya uborki korneplodov i kartofelya / A. V. Sibirev, M. A. Mosyakov, N. V. Sazonov [i dr.] // Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki. – 2024. – № 4. – S. 107-112. – DOI 10.31857/S2500208224040216. – EDN XJMGIW.

8. Otsenka perspektivnoy tekhnologicheskoy skhemy kartofeleuborochnogo kombayna / I. A. Uspenskiy, G. K. Rembalovich, M. YU. Kostenko, R. V. Beznosyuk // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2018. – № 1(49). – S. 262-269. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269. – EDN YZKHBJ.

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

The authors declare that there is no conflict of

Информация об авторах

Колотов Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», anton.kolotov.89@mail.ru

Юмаев Дмитрий Михайлович, канд. техн. наук, ассистент кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», yumaeb@yandex.ru

Кутыраев Александр Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kutyraev@bk.ru

Филишин Олег Владимирович, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», olegfil93@mail.ru



Ушанев Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», aushaniev@inbox.ru

Author Information

Kolotov Anton S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, anton.kolotov.89@mail.ru

Yumaev Dmitry M., Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yumaeb@yandex.ru

Kutyraev Alexander A., Graduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kutyraev@bk.ru

Filyushin Oleg V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, olegfil93@mail.ru

Ushanev Aleksandr I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, aushaniev@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 22.04.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 22.04.2025; approved after reviewing 06.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПОДХОД К ДИАГНОСТИРОВАНИЮ ТРАКТОРОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Эмилия Васильевна Кузнецова¹✉, Иван Алексеевич Успенский², Иван Александрович Юхин³,
Александр Анатольевич Горохов⁴, Андрей Алексеевич Сидоров⁵

¹ Региональный институт бизнеса и управления, г. Рязань, Россия

^{2,3,5} 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

⁵ andreyka_sidorov_2003@mail.ru

Аннотация.

Проблемы и цель. В статье разработан способ диагностирования технического состояния тракторов АПК на основе формирования диагностического кода. Цель – повышение точности диагностирования за счет использования комплексного показателя.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по диагностированию технического состояния современных тракторов АПК на основе формирования диагностического кода проводились в условиях ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Методика исследований заключалась в подключении диагностического сканера «АСКАН-10» через диагностический разъем OBD-II к бортовому компьютеру и получении показателей технического состояния. Диагностический код представляет собой числовые значения от 0 до 9 баллов и содержит: техническое состояние трактора «Кировец-5», оснащенного двигателем «ЯМЗ- 53642», и его ключевых показателей, которые указываются в круглых скобках. Диагностический код наглядно показывает техническое состояние системы, а также его категорию, что позволяет прогнозировать выход показателей за пределы нормативно-технической документации.

Результаты. Проведена разработка теоретических формул, а также создана частная методика для формирования диагностического кода технического состояния, применимая ко всему спектру сельскохозяйственной техники. Важным аспектом является разработка экспериментальной установки, которая базируется на интеграции современных технологий. Она включает в себя встроенный бортовой компьютер, который выступает в качестве центрального элемента системы, а также мультимарочный адаптер. Этот адаптер представляет собой высокотехнологичное устройство, способное осуществлять считывание диагностики из различных электронных блоков технических систем, установленных на многочисленных моделях сельскохозяйственной техники. Использование бортового компьютера в сочетании с мультимарочным адаптером открывает новые горизонты для мониторинга и анализа состояния техники, так как позволяет получать полную и актуальную информацию о работе различных технических систем. Это в значительной степени упрощает процесс диагностики, так как операторы получают доступ к ключевым показателям технического состояния в реальном времени.

Заключение. Подход к диагностированию технического состояния тракторов АПК заключается в формировании диагностического кода, что позволит уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт современных тракторов, оснащенных бортовыми компьютерами. Новый подход особенно важен в условиях санкций и ограничений на поставку запчастей для сельскохозяйственных производителей России, что приводит к их дефициту и значительному подорожанию.

Ключевые слова: подход минимальный, максимальный, фактический, диагностический, кривая нормального распределения случайной величины, показатель, код

Для цитирования: Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Горохов А.А., Сидоров А.А. Подход к диагностированию тракторов агропромышленного комплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 93-100 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.53.90.013>



IMPROVING THE DIAGNOSIS OF TRACTORS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Emilia V. Kuznetsova^{1✉}, Ivan A. Uspensky², Ivan A. Yukhin³, Alexander A. Gorokhov⁴, Andrey A. Sidorov⁵

¹ Regional Institute of Business and Management, Ryazan, Russia

^{2,3,5} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

⁴ Avtopodbora "Golden key", St. Petersburg, Russia

¹ Dizel.diagram@mail.ru

² ivan.uspensckij@yandex.ru

³ yuival@rambler.ru

⁴ sanyazanyat@gmail.com

⁵ andreyka_sidorov_2003@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The article develops a method for diagnosing the technical condition of agricultural tractors based on the formation of a diagnostic code.

Methodology. Experimental studies on the diagnosis of the technical condition of modern agricultural tractors based on the formation of a diagnostic code were conducted in the conditions of Avangard LLC in the Ryazan region of the Ryazan region. The research methodology consisted in connecting the ASKAN-10 diagnostic scanner through the OBD-II diagnostic connector to the on-board computer, and obtaining technical condition indicators. The diagnostic code represents numerical values from 0 to 9 points and contains: the technical condition of the Kirovets – 5 tractor equipped with the YaMZ – 53642 engine and its key indicators, which are indicated in parentheses. The diagnostic code clearly shows the technical condition of the technical system, as well as its category, which makes it possible to predict the output of indicators beyond the limits of regulatory and technical documentation. This is achieved by analyzing the indicators for each technical system (for example: engine) and their key indicators (for example: coolant temperature, pressure and engine oil temperature), which are evaluated in points. Based on this diagnostic information, it is possible not only to determine the current technical condition of the technical system, but also to identify trends in the indicators and residual resource of modern tractors. For example, if scores on key parameters are gradually increasing, this indicates critical wear of the associated parts and the risk of their exceeding the range of points based on the allocation of categories as follows: I category: $0 \leq BP < 3$ points; II category: $3 \leq BP < 6$ points; III category: $6 < BP < 9$ score.

Results. A comprehensive development of theoretical formulas has been carried out, as well as a private methodology has been created for the formation of a diagnostic code of technical condition applicable to the entire range of agricultural machinery. An important aspect is the development of an experimental installation based on the integration of modern technologies. It includes an integrated on-board computer that acts as the central element of the system, as well as a multi-brand adapter. This adapter is a high-tech device capable of reading diagnostics from various electronic components of technical systems installed on numerous models of agricultural machinery. The use of an on-board computer in combination with a multi-brand adapter opens up new horizons for monitoring and analyzing the state of the art, as it allows you to obtain complete and up-to-date information about the operation of various technical systems. This greatly simplifies the diagnostic process, as operators gain access to key technical condition indicators in real time.

Conclusion. The approach to diagnosing the technical condition of agricultural tractors is to generate a diagnostic code, which will reduce the cost of maintenance and repair of modern tractors equipped with on-board computers. The new approach is especially important in the context of sanctions and restrictions on the supply of spare parts for agricultural producers in Russia, which leads to a shortage and a significant rise in prices.

Key words: approach, minimum, maximum, actual, diagnostic, curve of the normal distribution of a random variable, indicator, code.

For citation: Kuznetsova E.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Gorokhov A.A., Sidorov A.A. Improving the diagnosis of tractors of the agro-industrial complex // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 93-97 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.53.90.013>

Введение

Перспективным направлением развития агро-промышленного комплекса России является поддержание тракторов в исправном техническом состоянии, что способствует повышению эффективности выполнения сельскохозяйственных работ. Техническое состояние тракторов напрямую влияет на вероятность их отказов, поскольку изно-

шенные или недостаточно обслуженные технические системы (например, двигатель) могут привести к снижению надежности и сокращению сроков эксплуатации. Регулярное диагностирование технического состояния, а также своевременное техническое обслуживание и ремонт существенно уменьшают риск возникновения различных видов отказов. В этой связи диагностирование техниче-



ского состояния тракторов АПК является ключевым фактором для предотвращения эксплуатационных отказов и снижения простоя в техническом обслуживании и ремонте тракторов АПК [1, 2].

В настоящее время существует большое разнообразие способов диагностирования технического состояния: визуальный, инструментальный, вибрационный, тепловизионный, лабораторный, акустический, компьютерный, комплексный. Результатом реализации существующих способов является аналитическое сравнение фактических значений диагностических показателей со значениями нормативно-технической документации, и принятие решений по своевременному проведению технического обслуживания и ремонта.

Проблема диагностирования технического состояния заключается в сложности аналитического сравнения многообразных диагностических показателей из-за того, что они имеют различные единицы измерения и разную направленность по выходу за пределы нормативно-технической документации. Кроме того, эксплуатация тракторов АПК, у которых диагностические показатели находятся на грани выхода за пределы нормативно-технической документации, приводит к перерастанию мелких неисправностей в более крупные, что значительно увеличивает затраты на простой в техническом обслуживании и ремонте [3, 4, 5].

Одним из путей уменьшения простоев в техническом обслуживании и ремонте тракторов АПК является совершенствование способов диагностирования технического состояния путём при-

ведения диагностических показателей в единую систему (диагностический код) за счёт перевода фактических значений в безразмерные показатели и прогнозирования их выхода за пределы нормативно-технической документации посредством выделения категорий [6, 7, 8].

Таким образом, уменьшение простоя в техническом обслуживании и ремонте путём разработки способа диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода является актуальной задачей.

Результаты исследований и их обсуждение

Подход к диагностированию тракторов АПК базируется на разработке способа диагностирования технического состояния на основе диагностического кода. Способ диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода заключается в разделении показателей по направлению выхода за пределы нормативно-технической документации на прямые и обратные, привязки их максимальных и минимальных значений к балльной шкале от 0 до 9 баллов, перевода фактических значений в безразмерные показатели (БП), выделения категорий выхода за пределы нормативно-технической документации следующим образом: I категория: $0 \leq \text{БП} < 3$ баллов; II категория: $3 \leq \text{БП} \leq 6$ баллов; III категория: $6 < \text{БП} \leq 9$ баллов. Способ диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода представлен на рисунке 1.

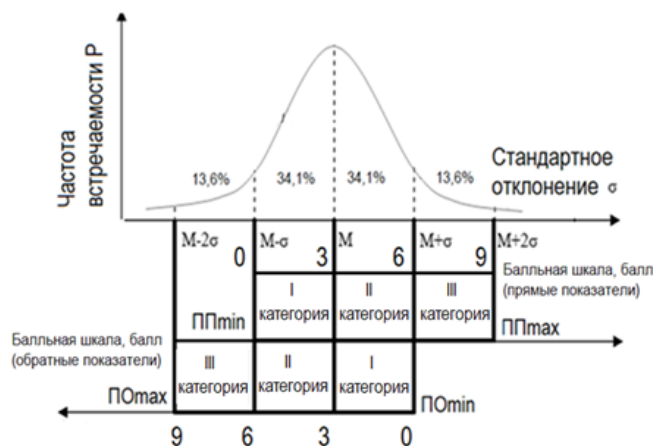


Рис. 1 – Способ диагностирования технического состояния на основе формирования диагностического кода

Fig. 1 – Method of diagnosing technical condition based on the formation of a diagnostic code

Разделение показателей по направлению выхода за пределы нормативно-технической документации заключается в их классификации на прямые и обратные на основе кривой нормально-го распределения случайной величины [9, 10].

Прямыми считаются показатели (например, температура охлаждающей жидкости), значения которых, увеличиваясь, совпадают (прямо) с направлением оси стандартного отклонения:

$$\text{ПП}_{\min} \uparrow \uparrow \text{ПП}_{\max} \quad (1)$$

где $\text{ПП}_{\min}$ – минимальные значения прямых показателей, ед. показателя;

$\text{ПП}_{\max}$ – максимальные значения прямых показателей, ед. показателя.

$\uparrow \uparrow$ – направление стандартного отклонения и направление выхода показателей за пределы нормативно-технической документации, соответственно.

Обратными считаются показатели (например, давление моторного масла), значения которых, увеличиваясь, направлены противоположно (обратно) оси стандартного отклонения:

$$\text{ПО}_{\min} \uparrow \downarrow \text{ПО}_{\max} \quad (2)$$

где $\text{ПО}_{\min}$ – минимальные значения обратных показателей, ед. показателя;

$\text{ПО}_{\max}$ – максимальные значения обратных показателей, ед. показателя.

$\uparrow \downarrow$ – направление стандартного отклонения



и направление выхода показателей за пределы нормативно-технической документации, соответственно.

Для наглядности интерпретации разнообразной диагностической информации прямые и обратные показатели привязываются к балльной шкале от 0 до 9 баллов на основе кривой нормального распределения случайной величины. Привязка позволяет упростить анализ, особенно, когда речь идёт о большом объёме диагностической информации и сравнивать различные показатели по одной и той же шкале. Разница заключается в том, что балльная шкала для прямых показателей совпадает с направлением оси стандартного отклонения, балльная шкала для обратных показателей направлена противоположно оси стандартного отклонения кривой нормального распределения.

Привязка минимальных значений прямых показателей $ПП_{min}$ к балльной шкале осуществляется по формуле:

$$ПП_{min} = M_{ПП} - \sigma_{ПП} = 0 \text{ баллов} \quad (3)$$

Привязка максимальных значений прямых показателей $ПП_{max}$ к балльной шкале осуществляется по формуле:

$$ПП_{max} = M_{ПП} + 2 \cdot \sigma_{ПП} = 9 \text{ баллов} \quad (4)$$

где $ПП_{max}$ – среднее арифметическое значение прямых показателей, ед. показателя;

$\sigma_{ПП}$ – стандартное отклонение прямых показателей, ед. показателя.

Среднее арифметическое значение прямых показателей $M_{ПП}$ определяется по формуле:

$$M_{ПП} = ПП_{min} + \frac{ПП_{max} - ПП_{min}}{K_{балл}}, \text{ ед. показателя} \quad (5)$$

Стандартное отклонение прямых показателей $\sigma_{ПП}$ определяется по формуле:

$$\sigma_{ПП} = \frac{ПП_{max} - ПП_{min}}{K_{балл}}, \text{ ед. показателя} \quad (6)$$

где $ПП_{min}$ – минимальные значения прямых показателей, ед. показателя;

$П_{max}$ – максимальные значения прямых показателей, ед. показателя;

$K_{балл}$ – балльный коэффициент, $K_{балл}=3$.

Привязка минимальных значений обратных показателей $ПО_{min}$ к балльной шкале осуществляется по формуле:

$$ПО_{min} = M_{ПО} + \sigma_{ПО} = 9 \text{ баллов} \quad (7)$$

Привязка максимальных значений обратных показателей $ПО_{max}$ к балльной шкале осуществляется по формуле:

$$ПО_{max} = M_{ПО} - 2 \cdot \sigma_{ПО} = 0 \text{ баллов} \quad (8)$$

где $M_{ПО}$ – среднее арифметическое значение обратных показателей, ед. показателя;

$\sigma_{ПО}$ – стандартное отклонение обратных показателей, ед. показателя.

Среднее арифметическое значение обратных показателей $M_{ПО}$ определяется по формуле:

$$M_{ПО} = ПП_{min} - \frac{ПП_{min} - ПП_{max}}{K_{балл}}, \text{ ед. показателя} \quad (9)$$

Стандартное отклонение обратных показателей $\delta_{ПП}$ определяется по формуле:

$$БП = \frac{K_{балл} \cdot (ПП_{факт} - M_{ПП} + \delta_{ПП})}{\delta_{ПП}}, \text{ баллов} \quad (10)$$

где $K_{балл}$ – балльный коэффициент, $K_{балл}=3$.

Перевод фактических значений прямых показателей в безразмерные показатели на основе кривой нормального распределения случайной величины осуществляется по формуле:

$$БП = \frac{K_{балл} \cdot (ПО_{факт} - M_{ПО} - \delta_{ПО})}{\delta_{ПО}}, \text{ баллов} \quad (11)$$

где $K_{балл}$ – балльный коэффициент, $K_{балл}=3$.

Перевод фактических значений обратных показателей в безразмерные показатели на основе кривой нормального распределения случайной величины осуществляется по формуле [9]:

$$БП = \frac{K_{балл} \cdot (ПО_{факт} - M_{ПО} - \delta_{ПО})}{\delta_{ПО}}, \text{ баллов} \quad (12)$$

где $K_{балл}$ – балльный коэффициент, $K_{балл}=3$ балла.

Выделение категорий выхода за пределы нормативно-технической документации (I категория: $0 \leq БП < 3$ балла; II категория: $3 \leq БП \leq 6$ баллов; III категория: $6 < БП \leq 9$ баллов) основано на взаимосвязи известных диапазонов стандартного отклонения ($\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$) нормального распределения случайной величины и трёх периодов износа сопряжённых деталей (I период – интенсивное притирание; II период – стабилизация; III период – ускоренный износ). Эта связь позволяет чётко соотнести изменение безразмерных показателей с этапами износа, что обеспечивает точную диагностику технического состояния и своевременное принятие решений по техническому обслуживанию и ремонту [11, 12]. Категории выхода за пределы нормативно-технической документации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Категории выхода за пределы нормативно – технической документации

Категория	Диапазон категории	Диапазон стандартного отклонения показателей, σ	Период износа сопряжённых деталей
I категория	$0 \leq БП < 3$, баллов	$\pm 1\sigma$	I период
II категория	$3 \leq БП \leq 6$, баллов	от $\pm 1\sigma$ до $\pm 2\sigma$	II период
III категория	$6 < БП \leq 9$, баллов	$\pm 2\sigma$ до $\pm 3\sigma$	III период

Категории выхода за пределы нормативно-технической документации:

I категория (притирание) $0 \leq БП < 3$, баллов в пределах $\pm 1\sigma$ стандартного отклонения показателей и I периода износа сопряжённых деталей. Происходит интенсивное притирание (изменение показателей) сопряжённых деталей, что приводит



к быстрому, но постепенно замедляющемуся износу (значениям показателей). Износ (характер изменения показателей) наиболее интенсивный, но со временем скорость снижается. Это короткий период эксплуатации.

II категория (стабилизация) $3 \leq \text{БП} \leq 6$, баллов (в пределах от $\pm 1\sigma$ до $\pm 2\sigma$) и II периода износа сопряжённых деталей. Износ (изменение показателей) происходит медленно и равномерно. Это наиболее длительный период эксплуатации.

III категория $6 < \text{БП} \leq 9$, баллов в пределах от $\pm 2\sigma$ до $\pm 3\sigma$ и III периода износа сопряжённых деталей. Износ (характер изменения показателей) ускоряется из-за достижения критических значений зазоров, усталости материалов, коррозии. Износ становится критичным, а показатели находятся на грани выхода за пределы нормативно-технической документации. Этот период очень короткий и требует принятия своевременных решений по техническому обслуживанию и ремонту.

Техническое состояние тракторов агропромышленного комплекса – это безразмерный числовой показатель (балл), который отражает техническое состояние на основе анализа нескольких ключевых технических систем (например, двигатель).

Техническое состояние тракторов агропромышленного комплекса определяется по формуле:

$$TC_{\text{тр}} = \frac{TC_1 + TC_2 + TC_3 + TC_4 + TC_5}{N}, \text{ баллов} \quad (13)$$

где TC_1 – техническое состояние 1-й технической системы, баллов;

TC_2 – техническое состояние 2-й технической системы, баллов;

TC_3 – техническое состояние 3-й технической системы, баллов;

TC_4 – техническое состояние 4-й технической системы, баллов;

TC_5 – техническое состояние 5-й технической системы, баллов;

N – количество технических систем трактора, $N = 5$ шт.

Техническое состояние двигателей – это безразмерный числовой показатель (балл), который отражает техническое состояние на основе анализа нескольких ключевых показателей двигателей (например: температура охлаждающей жидкости, давление и температура моторного масла). Техническое состояние двигателя определяется по формуле:

$$TC_1 = \frac{\text{БП}_{1.1} + \text{БП}_{1.2} + \text{БП}_{1.3}}{n}, \text{ баллов} \quad (14)$$

где $\text{БП}_{1.1}$ – 1-й показатель 1-й технической системы, баллов;

$\text{БП}_{1.2}$ – 2-й показатель 1-й технической системы, баллов;

$\text{БП}_{1.3}$ – 3-й показатель 1-й технической системы, баллов;

n – количество показателей 1-й технической системы, шт.

Диагностический код двигателя представляет

собой комплекс безразмерных числовых показателей (баллов), которые отражают техническое состояние ключевых показателей с учётом категорий выхода за пределы нормативно-технической документации.

Диагностический код двигателя формируется следующим образом:

$$TC_1 \left(\frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.1}}; \frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.2}}; \frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.3}} \right) \quad (15)$$

где TC_1 – техническое состояние двигателя, баллов.

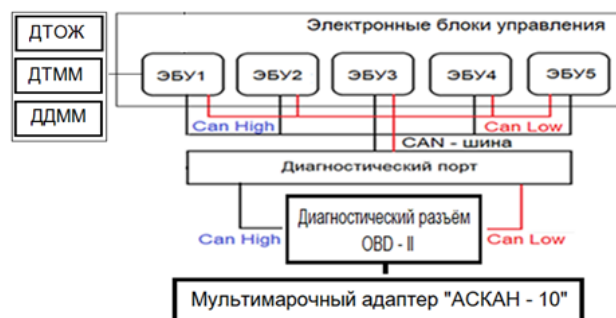
кат – категория выхода за пределы нормативно-технической документации.

Диагностический код тракторов агропромышленного комплекса представляет собой комплекс безразмерных числовых показателей (баллов), которые отражают техническое состояние ключевых технических систем и их показателей с учётом категорий выхода за пределы нормативно-технической документации. Диагностический код тракторов агропромышленного комплекса формируется следующим образом:

$$TC_{\text{тр}} \left[TC_1 \left(\frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.1}}; \frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.2}}; \frac{\text{кат}}{\text{БП}_{1.3}} \right); TC_2; TC_3; TC_4; TC_5 \right] \quad (16)$$

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальная установка по диагностированию технического состояния тракторов АПК представлена на рисунке 2.



ЭБУ1 – 1-я техническая система; ЭБУ2 – 2-я техническая система; ЭБУ3 – 3-я техническая система; ЭБУ4 – 4-я техническая система; ЭБУ5 – 5-я техническая система; ДТОЖ – датчик охлаждающей жидкости; ДТММ – датчик температуры моторного масла; ДДММ – датчик давления моторного масла

Рис. 2 – Экспериментальная установка по диагностированию технического состояния тракторов АПК

ECU1 – 1st technical system; ECU2 – 2nd technical system; ECU3 – 3rd technical system; ECU4 – 4th technical system; ECU5 – 5th technical system; DTOZH – coolant sensor; DTMM – engine oil temperature sensor; DDMM – engine oil pressure sensor.

Fig. 2 – Experimental setup for diagnosing the technical condition of agricultural tractors

Методика диагностирования технического состояния трактора «Кировец-5», оснащённого двигателем «ЯМЗ – 53642», представляет собой следующую последовательность:

- подключить «АСКАН-10» с помощью



кабеля ДК-5 к диагностическому разъёму OBD-II;

- установить ключ стартера в положение «I» – приборы включены для установления связи между «АСКАН-10» и электронными блоками управления, что отразится на дисплее;

- считать фактические значения показателей из памяти ЭБУД (температура охлаждающей жидкости; давление и температура моторного масла);

- сохранить фактические значения показателей и их предельные значения согласно нормативно-технической документации на внешний компьютер;

- выключить питание путём переключения ключа стартера в положение «II» – питание выключено.

Перевод температуры охлаждающей жидкости (прямой показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$T_{\text{охл}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{охл}}^{\text{факт}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}})}{T_{\text{охл}}^{\text{max}} - T_{\text{охл}}^{\text{min}}}, \text{баллов} \quad (17)$$

Перевод температуры моторного масла (прямой показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$T_{\text{мм}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (T_{\text{мм}}^{\text{факт}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}})}{T_{\text{мм}}^{\text{max}} - T_{\text{мм}}^{\text{min}}}, \text{баллов} \quad (18)$$

Перевод давления моторного масла (обратный показатель) в безразмерные показатели осуществляется по формуле:

$$P_{\text{мм}} = \frac{K^{\text{балл}} \cdot (P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{факт}})}{P_{\text{мм}}^{\text{max}} - P_{\text{мм}}^{\text{min}}}, \text{баллов} \quad (19)$$

где $K^{\text{балл}}$ – балльный коэффициент, $K^{\text{балл}} = 9$ баллов;

$T_{\text{охл}}^{\text{факт}}$; $T_{\text{мм}}^{\text{факт}}$; $P_{\text{мм}}^{\text{факт}}$ – фактические значения ключевых показателей, ед. показателя;

$T_{\text{охл}}^{\text{min}}$; $T_{\text{мм}}^{\text{min}}$; $P_{\text{мм}}^{\text{min}}$ – минимальные значения ключевых показателей, ед. показателя;

$T_{\text{охл}}^{\text{max}}$; $T_{\text{мм}}^{\text{max}}$; $P_{\text{мм}}^{\text{max}}$ – максимальные значения ключевых показателей, ед. показателя.

Техническое состояние трактора «Кировец-5», оснащённого двигателем «ЯМЗ-53642», представляет собой комплекс безразмерных числовых показателей (баллов), которые отражают техническое состояние ключевых технических систем и определяется следующим образом:

$$T_{\text{СЯМЗ-53645}} = \frac{T_{\text{охл}} + T_{\text{мм}} + P_{\text{мм}}}{n}, \text{баллов} \quad (20)$$

где n – количество показателей, $n = 3$ шт.

Техническое состояние трактора «Кировец-5», оснащённого двигателем «ЯМЗ-53642», представляет собой комплекс безразмерных числовых по-

казателей (баллов), которые отражают техническое состояние ключевой технической системы – двигатель. Оценка технического состояния учитывает степень износа основных узлов и деталей, что позволяет не только проводить своевременное техническое обслуживание, но и планировать необходимые ремонтные работы. Анализ собранных данных формирует целостное представление о надёжности и работоспособности трактора, что особенно важно для эффективного выполнения сельскохозяйственных задач и своевременной реакции на возникающие неисправности.

Диагностический код трактора «Кировец-5», оснащённого двигателем «ЯМЗ-53642» формируется следующим образом:

$$T_{\text{СЯМЗ-53645}} \left(\frac{\text{кат}}{T_{\text{охл}}}; \frac{\text{кат}}{T_{\text{мм}}}; \frac{\text{кат}}{P_{\text{мм}}} \right) \quad (21)$$

где $T_{\text{СЯМЗ-53645}}$ – техническое состояние двигателя «ЯМЗ-53645», баллов.

$T_{\text{охл}}$ – безразмерная величина температуры охлаждающей жидкости, баллов;

$T_{\text{мм}}$ – безразмерная величина температуры моторного масла, баллов;

$P_{\text{мм}}$ – безразмерная величина давления моторного масла, баллов;

кат – категория выхода за пределы нормативно-технической документации.

Диагностический код является не только инструментом для мониторинга технического состояния тракторов, но и основой для принятия управленческих решений, направленных на техническое обслуживание и ремонт. Его использование позволяет аграриям поддерживать технику в исправном техническом состоянии, что способствует повышению эффективности и производительности агропроизводства в целом.

Заключение

Таким образом, новый подход к диагностированию технического состояния тракторов АПК заключается в формировании диагностического кода, что позволит уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт современных тракторов, оснащённых бортовыми компьютерами. Новый подход особенно важен в условиях санкций и ограничений на поставку запчастей для сельскохозяйственных производителей России. Применение диагностического кода способствует не только оперативной идентификации неисправностей, но и более эффективному управлению ресурсами, что позволяет сократить время простоя техники. Более того, внедрение современных технологий в процесс диагностики и обслуживания повышает остаточный ресурс и производительность сельскохозяйственной техники, обеспечивая устойчивый уровень производства в условиях кризиса. Важно также отметить, что новый подход способствует повышению квалификации специалистов, что, в свою очередь, формирует новую культуру диагностирования и технического обслуживания в условиях агропромышленного комплекса.

Список источников

1. К выбору показателей эффективности при



исследовании и совершенствовании системы технической эксплуатации автомобильного транспорта в сельском хозяйстве / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 1058-1071. – EDN TROMIJ.

2. 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.

3. 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.

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. Борычев, 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. Рощин, Д. В. Снижение погрешностей диагностирования составных частей двигателя внутреннего сгорания тракторов и самоходных машин / Д. В. Рощин, 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. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.

11. 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. 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.

3. 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.

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. – T. 16, № 3. – S. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.*

11. *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. Uspenskiy // 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.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

Горохов Александр Анатольевич, директор, АвтоПодбор «Golden key», sanyazanyat@gmail.com

Сидоров Андрей Алексеевич, студент 4-го курса, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», andreyka_sidorov_2003@mail.ru

Author Information

Kuznetsova Emilia V., Applicant, Senior Lecturer at the Department of Technical Disciplines, Regional Institute of Business and Management, Dizel.diagram@mail.ru

Uspenskiy 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 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

Sidorov Andrey A., 4th year Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, andreyka_sidorov_2003@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.03.2025; одобрена после рецензирования 28.04.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 21.03.2025; approved after reviewing 28.04.2025; accepted for publication 10.06.2025.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 664.8.047
DOI: 10.36508/RSATU.2025.96.66.014

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕСПРИВОДНОГО ВЫПУСКНОГО УСТРОЙСТВА МОДУЛЬНОЙ СУШИЛКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО НАГРЕВА

Алексей Иванович Купреенко^{1✉}, Хафиз Мубариз-оглы Исаев², Андрей Григорьевич Ялоза³,
Олег Алексеевич Купреенко⁴, Самир Хафизович Исаев⁵

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», Брянская область, Россия

¹ kupreenkoai@mail.ru

² haf-is@mail.ru

³ yalozaag@mail.ru

⁴ 89996212885@mail.ru

⁵ Samir.isaev.94@inbox.ru

Аннотация.

Проблема и цель. При оснащении модульной сушилки аэродинамического нагрева на базе экспериментальной плодово-ягодной сушилки ПАПРКТО дополнительным модулем в виде сушильной шахты для зерна возник вопрос выбора типа выпускного устройства. Располагаемое по высоте пространство для размещения проектируемого выпускного устройства составляет не более 600 мм. Анализ конструкций выпускных устройств шахтных зерносушилок показал, что для данного случая в наибольшей степени поставленным условиям удовлетворяет вариант комбинации бесприводного выпускного устройства механического типа и пневмотранспортера с отбором воздушного потока из рабочей камеры ротора-нагревателя. В связи с этим необходимо: обоснование конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства механического типа сушильной шахты модульной сушилки аэродинамического нагрева.

Методология. На основе конструкции бесприводного выпускного устройства механического типа сушилок типа «Целинная», А1-УЗМ выполнен расчет конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства сушильной шахты модульной сушилки.

Результаты. Испытание сушильной шахты на сушке зерна пшеницы показало, что изготовленное по расчетным параметрам бесприводное выпускное устройство обеспечивает равномерное истечение зерна по всему сечению сушильной шахты. При сечении сушильной шахты 700х600 мм бесприводное выпускное устройство механического типа может состоять только из верхнего и нижнего бункеров.

Заключение. При угле наклона лотков 35° к горизонту и сечении выпускного отверстия 60х60 мм высота верхнего бункера составит 0,238 м, высота нижнего бункера – 0,338 м при общей высоте выпускного устройства 0,576 м. При этом отсутствуют затраты энергии на работу выпускного устройства, уменьшается его материалоемкость, и повышается надежность работы.

Ключевые слова: модульная сушилка аэродинамического нагрева, сушильная шахта, сушка зерна, бесприводное выпускное устройство, выпускное отверстие

Для цитирования: Купреенко А.И., Исаев Х.М., Ялоза А.Г., Купреенко О.А., Исаев С.Х. Обоснование конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства модульной сушилки аэродинамического нагрева // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. Т.17, №2, С.101-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.66.014>

Original article

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF A NON-WATER EXHAUST DEVICE OF A MODULAR AERODYNAMIC HEATING DRYER

Aleksey I. Kupreenko^{1✉}, Khafiz M. Isaev², Andrey G. Yaloza³, Oleg A. Kupreenko⁴, Samir K. Isaev⁵

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

¹ kupreenkoai@mail.ru

© Купреенко А.И., Исаев Х.М., Ялоза А.Г., Купреенко О.А., Исаев С.Х., 2025 г.

² haf-is@mail.ru³ yalozaag@mail.ru⁴ 89996212885@mail.ru⁵ Samir.isaev.94@inbox.ru**Abstract.**

Problem and purpose. When equipping a modular aerodynamic heating dryer based on an experimental PAPRKTO fruit and berry dryer with an additional module in the form of a drying shaft for grain, the question arose of choosing the type of exhaust device. The height-adjustable space for accommodating the projected exhaust device is no more than 600 mm. An analysis of the designs of the exhaust devices of mine grain dryers has shown that for this case, the combination of a non-water outlet device of a mechanical type and a pneumatic conveyor with air flow extraction from the working chamber of the rotor heater satisfies the set conditions to the greatest extent. The purpose of the research is to substantiate the design parameters of a non-water outlet device of the mechanical type of the drying shaft of a modular aerodynamic heating dryer. **Methodology.** Based on the design of a non-water outlet device of the mechanical type of dryers of the type "Virgin", A1-UZM.

Results. The design parameters of the non-water outlet device of the modular dryer drying shaft are calculated. Testing of the drying shaft for drying wheat grain showed that a non-water outlet device manufactured according to design parameters ensures uniform grain flow throughout the entire section of the drying shaft. When the section of the drying shaft is 700x600mm, the non-water outlet device of the mechanical type can consist only of upper and lower bunkers.

Conclusion. With an angle of inclination of the trays 35° to the horizon and an outlet section of 60x60 mm, the height of the upper hopper will be 0.238 m, the height of the lower hopper will be 0.338 m, with a total outlet height of 0.576 m. At the same time, there are no energy costs for the operation of the exhaust device, its material consumption decreases and its reliability increases.

Key words: modular aerodynamic heating dryer; drying shaft; grain drying; wireless exhaust device; exhaust port

For citation: Kupreenko A.I., Isaev K.M., Yaloza A.G., Kupreenko O.A., Isaev S.K. Substantiation of the design parameters of a non-water exhaust device of a modular aerodynamic heating dryer // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2. P. 101-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.96.66.014>

Введение

Модульная конструкция машин позволяет расширить их функциональные возможности, повысить годовую загрузку и, соответственно, эффективность их использования. Этот подход нашел свое отражение и в совершенствовании конструкции плодово-ягодной сушилки аэродинамического нагрева, эксплуатируемой в Брянском ГАУ [1, 2].

При оснащении модульной сушилки аэродинамического нагрева на базе экспериментальной плодово-ягодной сушилки ПАПРКТО дополни-

тельным модулем в виде сушильной шахты для зерна возник вопрос выбора типа выпускного устройства.

С учетом расположения смотрового окна в рабочей камере ротора-нагревателя сушилки аэродинамического нагрева ПАПРКТО, к которому подсоединяется входной патрубок сушильной шахты дополнительного модуля, располагаемое по высоте пространство для размещения проектируемого выпускного устройства составляет не более 600 мм (рис. 1).



1 – основной модуль сушилки; 2 – смотровое окно

Рис. 1 – Сушилка ПАПРКТО

1 – main dryer module; 2 – viewing window

Fig. 1 – PAPRKTO dryer



Кроме этого выпускное устройство должно обеспечивать при необходимости работу сушилки в режиме рециркуляции зерна [3].

Анализ конструкций выпускных устройств шахтных зерносушилок [4-8] показал, что для данного случая в наибольшей степени поставленным условиям удовлетворяет вариант комбинации бесприводного выпускного устройства механического типа и пневмотранспортера с отбором воздушного потока из рабочей камеры ротора-нагревателя [9].

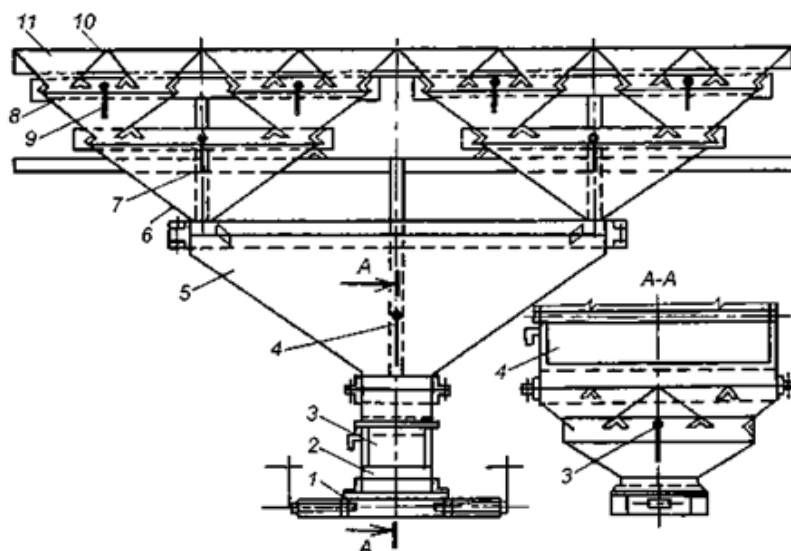
Таким образом, возникла задача обоснования конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства механического типа с учетом конструктивных параметров сушильной шахты.

Цель исследований: обоснование конструктивных параметров бесприводного выпускного устройства механического типа сушильной шахты модульной сушилки аэродинамического нагрева.

Объекты и методы

В сушилках «Целинная», РД-2х25-70, У2-УЗБ-50 и А1-УЗМ применяют бесприводное выпускное устройство механического типа (рис. 2) [10].

Принцип работы в том, что по мере продвижения вниз зерно с каждого двух вышерасположенных лотков объединяется в одном, находящемся ниже. С помощью клапанов регулируют скорость движения зерна по отдельным потокам.



1 – задвижка; 2 – нижний бункер; 3, 4, 7, 9 – клапаны; 5 – средний бункер; 6, 8, 10 – раскататели; 11 – верхний бункер

Рис. 2 – Бесприводное выпускное устройство механического типа
1 – gate valve; 2 – lower bin; 3, 4, 7, 9 – valves; 5 – middle bin; 6, 8, 10 – dividers; 11 – upper bin

Fig. 2 – Non-driven mechanical discharge device

Преимуществом данного типа выпускного устройства является совмещение в нем одновременно функции выпускного механизма и подсушильного бункера. Количество рядов лотков по высоте будет зависеть от площади поперечного сечения шахты.

Так как поперечное сечение сушильной шахты модульной сушилки аэродинамического нагрева имеет размеры 700х600 мм, то имеется возможность уложиться в отводимые 600 мм высоты выпускного устройства, включив в его состав только верхний и нижний бункеры (рис. 1).

На рис. 3 представлен вид снизу сушильной шахты модульной сушилки.



Рис. 3 – Вид сушильной шахты снизу
Fig. 3 – Bottom view of the drying shaft

Нижние короба являются отводящими и состоят из двух полных и двух полукоробов. Ширина коробов и расстояние между ними составляет 100 мм.

Таким образом, зерно в выпускное устройство поступает через 3 выпускных отверстия шахты, каждое размером 700х100 мм.

Далее, по аналогии с движением зерна по коробам сушильной шахты, под этими тремя выпускными отверстиями шахты необходимо расположить три раскатателя верхнего бункера бесприводного выпускного устройства механического типа (это половина верхней части устройства (рис. 2)). В результате из полученных 4-х потоков будет последовательно сформировано два, а затем один поток зерна в выпускное отверстие сечением 700х60 мм (принимая 60 мм, исходя из небольшого сечения сушильной шахты и минимально принятой ширины выпускных отверстий в выпускаемых шахтных сушилках). Под раскатателями установим поворотные клапаны для регулирования скорости движения зерна на отдельных участках устройства.

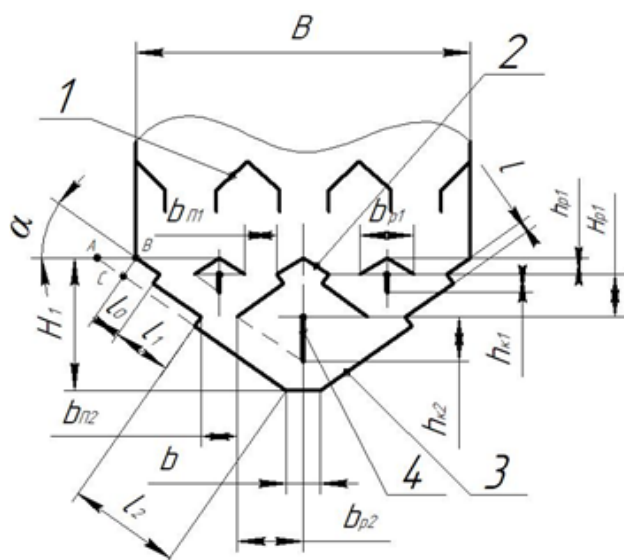
Полученный поток зерна далее с помощью трех раскатателей нижнего бункера выпускного устройства аналогично теперь уже в поперечной плоскости сводим в единый поток с выпускным отверстием на выходе сечением 60х60 мм, аналогично ширине выпускного отверстия выпускного



механизма зерносушилки А1-УЗМ. Под центральным рассекателем также установим поворотный клапан.

Между нижним бункером выпускного устройства и выпуском разместим оппозитно в горизонтальной плоскости две зерновых заслонки для регулирования подачи зерна в пневмотранспортер. Две заслонки позволят формировать симметричное переменное сечение выгрузного отверстия.

На рисунке 4 представлена расчетная схема конструктивных параметров верхнего бункера бесприводного выпускного устройства механического типа. Расчет произведем без учета толщины стенок устройства.



1 – отводящий короб сушильной шахты;

2 – рассекатель; 3 – лоток; 4 – поворотный клапан

Рис. 4 – Расчетная схема верхнего бункера выпускного устройства

1 – drying shaft outlet box; 2 – diffuser; 3 – tray;

4 – rotary valve

Fig. 4 – Calculation diagram of the upper hopper of the discharge device

Ширина рассекателя

$$b_{p1} = 0,25B - b_{п1}, \text{ м}, \quad (1)$$

где B – ширина сушильной шахты, м;

$b_{п1}$ – заданная ширина выпускного отверстия между рассекателями, (принимается равной 0,06 м, как и ширина выпускного отверстия нижнего бункера).

Высота рассекателя

$$h_{p1} = 0,5b_{p1} \tan \alpha, \text{ м}, \quad (2)$$

где α – угол наклона лотка к горизонту, град.

В ходе лабораторных исследований физико-механических свойств зерна озимой пшеницы сорта «Московская-39» установлено, что угол естественного откоса зерна составляет 33° . Таким образом, принимаем с некоторым запасом надежности истечения зерна для дальнейших расчетов угол наклона лотка к горизонту α равным 35° .

Высота лотков первого ряда верхнего бункера

$$H_{p1} = (b_{п1} + 0,5b_{p1}) \tan \alpha + l \cdot \sin(90 - \alpha), \quad (3)$$

где l – ширина вылета лотка, м.

Длина лотков первого ряда верхнего бункера

$$l_1 = (b_{п1} + 0,5b_{p1}) / \cos \alpha \quad (4)$$

Высота поворотного клапана первого ряда лотков

$$h_{к1} = 0,5b_{p1} \tan \alpha. \quad (5)$$

Длину лотка второго ряда с учетом длин сторон прямоугольного треугольника ABC (рис. 3) найдем из уравнения:

$$l_2 + l_1 + l_0 + [AC] = (0,5B - 0,5b + [AB]) / \cos \alpha, \quad (6)$$

где l_0 – длина ската рассекателя верхнего бункера, м;

$[AC]$ – длина катета треугольника ABC, м;

b – принятая ширина выпускного отверстия верхнего бункера, (принимается равной 0,06 м, как и ширина выпускного отверстия нижнего бункера);

$[AB]$ – длина гипотенузы треугольника ABC, м.

Тогда, с учетом того, что:

$$l_0 = 0,5 b_{p1} / \cos \alpha, \quad (7)$$

$$[AC] = 2l \tan(90 - \alpha), \quad (8)$$

$$[AB] = 2l / \sin \alpha \quad (9)$$

длина лотка второго ряда будет равна:

$$l_2 = (0,5(B - b - b_{p1}) + \frac{2l}{\sin \alpha}) / \cos \alpha - l_1 - l_1 - 2l \tan(90 - \alpha). \quad (10)$$

Ширина выпускного отверстия первого ряда лотков

$$b_{п2} = 0,5B - 2 \cos \alpha (l_0 + l_1) + 2l \sin \alpha. \quad (11)$$

Высота поворотного клапана второго ряда лотков

$$h_{к2} = b_{п2} \tan \alpha, \quad (12)$$

$$\text{где} \quad (13)$$

$$b_{p2} = 0,5(0,5B - b_{п2}). \text{ М},$$

Общая высота верхнего бункера будет равна:

$$H_1 = (l_2 + l_1 + l_0 + [AC]) \sin \alpha = (0,5(B - b) + 2l / \sin \alpha) \tan \alpha. \quad (14)$$

Произведем расчет конструктивных параметров нижнего бункера (рис. 5).

Используя тот же подход, что и для верхнего бункера, получим в окончательном виде следующие расчетные зависимости для нижнего бункера: длина ската малого рассекателя

$$l_{p1} = h / \sin \alpha; \quad (15)$$

ширина малого рассекателя

$$b_{p3} = 2h \tan(90 - \alpha); \quad (16)$$

ширина выпускного отверстия 3-го ряда лотков

$$b_{п3} = 0,5(0,5L - 1,5b_{p3}); \quad (17)$$

длина лотка 3-го ряда



$$l_3 = 0,5(0,5(L - b_{p3}) - b_{п4}) / \cos \alpha; \quad (18)$$

длина ската большого рассекателя

$$l_{p2} = l_{p1} + l_3; \quad (19)$$

высота большого рассекателя

$$h_{p2} = h + l_3 \cos \alpha; \quad (20)$$

высота поворотного клапана

$$h_{к3} = b_{p4} \tan \alpha, \quad (21)$$

где

$$b_{p4} = l_{p2} \cos \alpha; \quad (22)$$

длина лотка 4-го ряда

$$l_4 = (0,5(0,5L - b + 0,5b_{p3} - b_{п4}) + \quad (23)$$

$$+ (h + l / \cos \alpha) \tan(90 - \alpha) + l \sin \alpha) /$$

$$/ \cos \alpha + (h + l / \cos \alpha) / \sin \alpha;$$

общая высота нижнего бункера

$$H_2 = (l_4 + l_3) \sin \alpha + h + l / \cos \alpha - \quad (24)$$

где h – принятая высота малого рассекателя,

м;

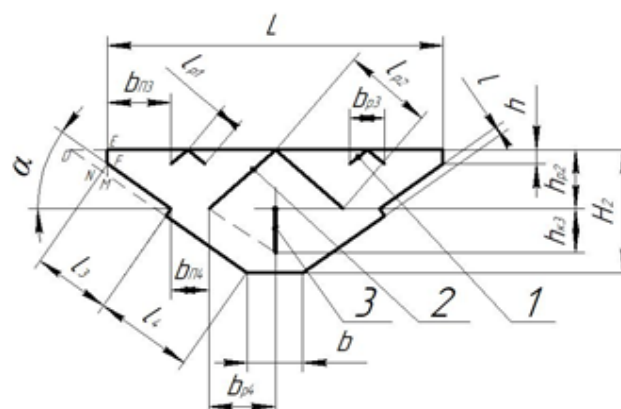
L – длина сушильной шахты, м;

$b_{п4}$ – принятая ширина выпускного отверстия 3-го ряда лотков, (принимается равной 0,06 м,

как и ширина выпускного отверстия нижнего бункера).

Общая высота бесприводного выпускного устройства механического типа:

$$H = H_1 + H_2. \quad (25)$$



1 – малый рассекатель; 2 – большой рассекатель;
3 – поворотный клапан

Рис. 5 – Расчетная схема нижнего бункера выпускного устройства

1 – small diffuser; 2 – large diffuser; 3 – rotary valve

Fig. 5 – Calculation scheme of the lower hopper of the discharge device

Экспериментальная часть и результаты

Рассчитанные конструктивные параметры бесприводного выпускного устройства механического типа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Конструктивные параметры бесприводного выпускного устройства механического типа

Наименование конструктивного параметра	Условное обозначение параметра	Значение параметра, м
Верхний бункер выпускного устройства		
Ширина сушильной шахты	B	0,600
Заданная ширина выпускного отверстия между рассекателями	$b_{п1}$	0,060
Угол наклона лотка к горизонту	α	35°
Ширина рассекателя	b_{p1}	0,090
Высота рассекателя	h_{p1}	0,032
Высота лотков первого ряда	H_{p1}	0,090
Ширина вылета лотка	l	0,020
Длина лотков первого ряда	l_1	0,120
Высота поворотного клапана первого ряда лотков	$h_{к1}$	0,032
Длина ската рассекателя	l_o	0,055
Принятая ширина выпускного отверстия	b	0,060
Длина лотка второго ряда	l_2	0,216
Ширина выпускного отверстия первого ряда лотков	$b_{п2}$	0,036
Высота поворотного клапана второго ряда лотков	$h_{к2}$	0,093
Половина ширины центрального рассекателя	b_{p2}	0,132
Общая высота верхнего бункера	H_1	0,238
Нижний бункер выпускного устройства		
Длина ската малого рассекателя	l_{p1}	0,052
Ширина малого рассекателя	B_{p3}	0,086
Ширина выпускного отверстия 3-го ряда лотков	$b_{п3}$	0,111
Длина лотка 3-го ряда	l_3	0,151
Длина ската большого рассекателя	l_{p2}	0,203
Высота большого рассекателя	h_{p2}	0,154

Высота поворотного клапана	$h_{кз}$	0,116
Половина ширины центрального рассекателя	$b_{р4}$	0,166
Длина лотка 4-го ряда	l_4	0,369
Принятая высота малого рассекателя	h	0,030
Ширина высыпного отверстия 3-го ряда лотков	$b_{п4}$	0,060
Длина сушильной шахты	L	0,700
Общая высота нижнего бункера	H_2	0,338
Общая высота бесприводного устройства составляет 0,576		

При определении высоты поворотных клапанов исходим из условия, что клапан в вертикальном положении должен доходить до верхнего уровня движущегося по лотку потока зерна, но не погружаться в него и не препятствовать свободному истечению зерна. В случае большего истечения зерна по одной из сторон лотков поворот клапана в эту сторону приведет к некоторому погружению его в поток движущегося зерна (максимально при перпендикулярном положении клапана относительно лотка), соответственно, уменьшению сечения потока и его выравниванию относительно другого потока.

Таким образом, из 0,900 м располагаемой высоты 0,576 м будет занято бесприводным устройством, еще 0,060 м – высота выпуска из бесприводного устройства и оставшиеся 0,264 м – на размещение материалопровода пневмотранспортера сушилки.

На основании рассчитанных параметров и разработанного комплекта конструкторской документации ООО «ОКБ по теплогенераторам» (г. Брянск) было изготовлено бесприводное выпускное устройство механического типа (рис. 6, 7).



Рис. 6 – Верхний бункер бесприводного выпускного устройства

Fig. 6 – Upper hopper of the non-driven discharge device

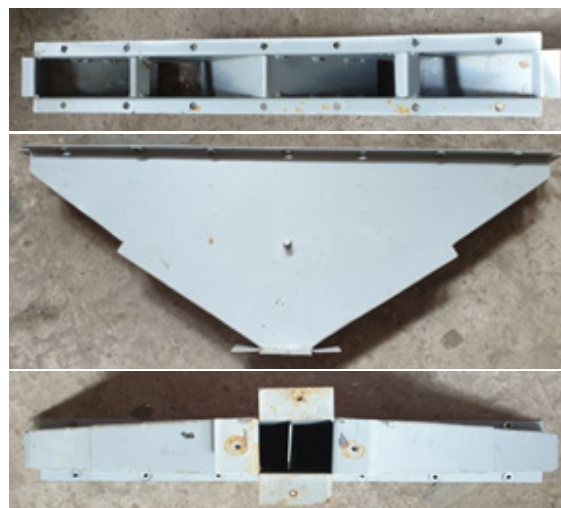


Рис. 7 – Нижний бункер бесприводного выпускного устройства

Fig. 7 – Lower hopper of the non-driven discharge device

Общий вид модульной сушилки с бесприводным выпускным устройством механического типа представлен на рис. 8.



Рис. 8 – Общий вид сушильной шахты с бесприводным выпускным устройством

Fig. 8 – General view of the drying shaft with a non-driven discharge device

Испытание сушильной шахты на сушке зерна пшеницы показало, что изготовленное по расчетным параметрам бесприводное выпускное устройство обеспечивает достаточно равномерное исте-



чение зерна по всему сечению сушильной шахты (рис. 9).



а



а – начальный момент работы; б – характерная картина истечения зерна

Рис.9 – Характер истечения зерна из сушильной шахты

a – initial moment of operation; b – typical picture of grain flow

Fig.9 – Nature of grain flow from the drying shaft

Однако было установлено, что избыточное давление воздуха со стороны материалопровода пневмотранспортера оказывает в выпуске сопротивление истечению зерна из нижнего бункера из-за вихреобразования в выпуске. При этом поток истекающего из выпуска зерна наблюдается вдоль передней стенки выпуска по ходу движения воздушного потока (рис. 10).

Вдоль задней стенки выпуска движется восходящий воздушный турбулентный поток, действующий на отдельные зерновки, изменяющий траекторию их движения, приводя к взаимному столкновению, и тем самым оказывая тормозящее воздействие на движущийся вниз поток зерна.

Наличие восходящего воздушного потока в выпуске объясняется незначительной высотой столба зерна в выпуске и нижней части нижнего бункера выпускного устройства, что не обеспечивает соответствующего сопротивления воздушному потоку и создает малый подпор со стороны зернового столба.

В подтверждение данным предположениям можно привести зафиксированный на видеосъемке момент выброса с большой скоростью зерновки через отверстие от самореза в боковой стенке выпуска (рис. 11).

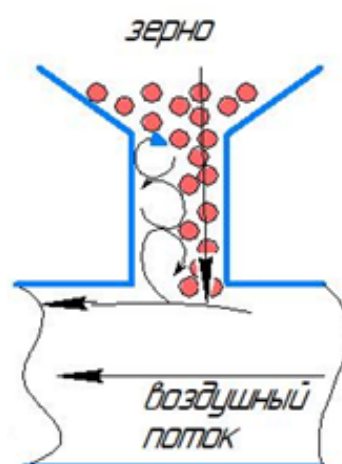


Рис. 10 – Аэродинамика выпуска на основе экспериментальных наблюдений

Fig. 10 – Aerodynamics of the exhaust based on experimental observations



а



б

а – начальный момент вылета; б – полет по восходящей траектории

Рис. 11 – Вылет зерновки через отверстие в выпуске

a – the initial moment of flight; b – flight along an ascending trajectory

Fig. 11 – The flight of a grain through the outlet opening

При этом направление движения зерновки в момент вылета из отверстия было вверх под значительным углом к горизонту.

Для уменьшения влияния турбулентности воздушного потока на процесс истечения зерна из выпуска необходимо уменьшить высоту выпуска, максимально приблизив зерновые заслонки к верхней стенке материалопровода пневмотранспортера. Поэтому высота выпуска выпускного устройства механического типа была уменьшена вдвое до 3 см.

Проведенные исследования показали, что использование выпуска высотой 3 см позволяет получить максимальную производительность пнев-



мотора 466,8 кг/ч, что на 8,8 % больше чем с выпуском высотой 6 см.

Выводы

При сечении сушильной шахты 700х600 мм бесприводное выпускное устройство механического типа может состоять только из верхнего и нижнего бункеров. При угле наклона лотков 35° к горизонту и сечении выпускного отверстия 60х60 мм высота верхнего бункера составит 0,238 м, высота нижнего бункера – 0,338 м при общей высоте выпускного устройства 0,576 м.

При этом отсутствуют затраты энергии на работу выпускного устройства, уменьшается его материалоемкость и повышается надежность работы.

Список источников

1. Сушилка аэродинамического нагрева модульного типа / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.М. Михайличенко, О.А. Купреенко, А.Г. Ялоза // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 218-222.

2. Результаты испытания опытного образца зерносушилки с генератором теплоты аэродинамического типа / В.Н. Ожерельев, Х.М. Исаев, Т.В. Панова, О.А. Купреенко, А.Г. Ялоза // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 1 (99). 2023. С. 129-136. doi: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-129-136

3. К обоснованию конструкции приемного устройства пневмотранспортера сушилки аэродинамического нагрева / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.Г. Ялоза, О.А. Купреенко // Вестник Брянской

ГСХА. 2025. №1 (107). С. 58 – 61.

4. Опишанский В.И., Окунь Г.С., Фишман И. Л. Разгрузочные устройства сушилок // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1980. №11. С. 60-61.

5. Тарасов В.П. Влияние способа загрузки материалапровода на параметры процесса пневмотранспортирования / Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2003. № 4 (275). С. 92-94.

6. Тарасов В.П., Мухопад К.А. Влияние характеристик приемно-питающих устройств на устойчивость пневмотранспортирования сыпучих материалов / Ползуновский вестник. 2012. № 2-2. С. 127-130.

7. Чеботарев В.П. Теоретический расчет параметров шахты и выгрузного устройства шахтной зерносушилки / Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014;1(48):135-139.

8. Цыдендоржиев Б.Д., Цыдендоржиева Г.Р., Бадмаева Н.Д. Расчет выгрузки зерна из шахты зерносушилки планчатыми разгрузочными устройствами: сб. науч. тр. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. Вып. 5. С. 33-35.

9. Панова Т.В., Панов М.В. Определение конструктивно-режимных параметров пневмотранспортера для зерносушилки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 106 – 109.

10. Атаназевич В.И. Сушка зерна. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 480 с. ISBN 978-5-94343-146-3

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Sushilka aerodinamicheskogo nagreva modul'nogo tipa / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, S.M. Mihajlichenko, O.A. Kupreenko, A.G. Yaloza // Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skhozayajstvennogo naznacheniya. 2022. № 1 (21). S. 218-222.

2. Rezul'taty ispytaniya opytnogo obrazca zernosushilki s generatorom teploty aerodinamicheskogo tipa / V.N. Ozherel'ev, H.M. Isaev, T.V. Panova, O.A. Kupreenko, A.G. Yaloza // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 1 (99). 2023. S. 129-136. doi: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-129-136.

3. K obosnovaniyu konstrukcii priemnogo ustrojstva pnevmotransportera sushilki aerodinamicheskogo nagreva / A.I. Kupreenko, H.M. Isaev, A.G. Yaloza, O.A. Kupreenko // Vestnik Bryanskoj GSHA. 2025. №1 (107). S. 58 – 61.

4. Opishanskij V.I., Okun' G.S., Fishman I. L. Razgruzochnye ustrojstva sushilok // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva, 1980. №11. S. 60-61.

5. Tarasov V.P. Vliyanie sposobazagruzki materialoprovoda na parametry processa pnevmotransportirovaniya / Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya. 2003. № 4 (275). S. 92-94.

6. Tarasov V.P., Muhopad K.A. Vliyanie harakteristik priemno-pitayushchih ustrojstv na ustojchivost' pnevmotransportirovaniya syuchih materialov / Polzunovskij vestnik. 2012. № 2-2. S. 127-130.

7. Chebotarev V.P. Teoreticheskij raschet parametrov shahty i vygruznogo ustrojstva shahtnoj zernosushilki / Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. 2014;1(48):135-139.

8. Cydendorzhiev B.D., Cydendorzhieva G.R., Badmaeva N.D. Raschet vygruzki zerna iz shahty zernosushilki planchatymi razgruzochnymi ustrojstvami: sb. nauch. tr. – Ulan-Ude: Izd-vo VSGUTU, 2018. Vyp. 5. S. 33-35.

9. Panova T.V., Panov M.V. Opredelenie konstruktivno-rezhimnyh parametrov pnevmotransportyora dlya zernosushilki // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 2 (88). S. 106 – 109. (In Rus.)



10. Atanazevich V.I. Sushka zerna. – M.: DeLi print, 2007. – 480 s. ISBN 978-5-94343-146-3

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Купреенко Алексей Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», kupreenkoai@mail.ru

Исаев Хафиз Мубариз-оглы, канд. экон. наук, доцент, зав. кафедрой технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», haf-is@mail.ru

Ялоза Андрей Григорьевич, соискатель, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», yalozaag@mail.ru

Купреенко Олег Алексеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», 89996212885@mail.ru

Исаев Самир Хафизович, канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», Samir.isaev.94@inbox.ru

Author Information

Kupreenko Aleksey I., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment for Livestock Farming and Processing Industries, Bryansk State Agrarian University, kupreenkoai@mail.ru

Isaev Khafiz M., Candidate of Economic Sciences, Head of the Department of Technological Equipment for Animal Husbandry and Processing Industries, Bryansk State Agrarian University, haf-is@mail.ru

Yaloza Andrey G., Applicant, Bryansk State Agrarian University, yalozaag@mail.ru

Kupreenko Oleg A., Postgraduate, Bryansk State Agrarian University, 89996212885@mail.ru

Isaev Samir K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Equipment for Animal Husbandry and Processing Industries, Bryansk State Agrarian University, Samir.isaev.94@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 25.03.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 25.03.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 629.08
DOI: 10.36508/RSATU.2025.71.63.015

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Илья Николаевич Николотов^{1✉}, Сергей Николаевич Кулик², Сергей Николаевич Борычев³

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

¹ morshanskatp@mail.ru

² kulik.s.n@yandex.ru

³ university@rgatu.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Надежность технической системы является одним из ключевых элементов реализации производственного процесса. Для эффективной эксплуатации недостаточно лишь держать автомобильный транспорт в исправном состоянии, но также необходимо уметь прогнозировать выход из строя его систем, агрегатов, узлов. В настоящее время для этого применяется регламентное обслуживание (через установленные заводом-изготовителем интервалы и скорректированные с учетом условий эксплуатации), включающее ТО-1, ТО-2, СО (сезонное обслуживание), в рамках которых выполняются контрольно-диагностические, регулировочные и прочие операции, а также замена расходных материалов. При этом ввиду ряда независимых факторов довольно часто отказы происходят в интервалах между ними. Поэтому цель данного исследования – разработка методики и средства для определения потребности в проведении замены элементов тормозной системы транспортного средства, минуя стандартные способы, такие как инструментальный контроль.

Методология. В ходе эксперимента были применены методы инструментального контроля элементов тормозной системы автомобиля: остаточной толщины накладок (учитывается толщина до заклепок, крепящих их к тормозным колодкам) тормозных колодок и внутренних диаметров тормозных барабанов. Анализ данных производился при помощи корреляционно-регрессионного метода обработки случайных величин. В качестве объекта исследований была выбрана группа автомобилей КамАЗ 5320.

Результаты. Инструментальный контроль в рамках последовательных технических обслуживаний (ТО-2) позволил установить зависимость между остаточным ресурсом накладок тормозных колодок транспортного средства и их наработкой при разных условиях эксплуатации. Спрогнозовав при помощи разработанного алгоритма момент наступления критического состояния элемента (в первую очередь тормозной колодки на левом колесе), было принято решение о его замене при ближайшем обслуживании (предшествующем данному критическому моменту).

Заключение. Данные, полученные в ходе эксперимента (применительно к автомобилю КамАЗ 5320), послужили основой для составления прогноза о необходимости обслуживания тормозной системы транспортного средства. В качестве аналитического модуля использовали алгоритм определения отказа одного или нескольких элементов тормозной системы автомобиля в зависимости от его наработки. Полученный прогноз был проверен при помощи инструментального контроля накладок тормозных колодок автомобиля, что подтвердило его достоверность.

Ключевые слова: тормозная колодка, накладка, транспортное средство, инструментальный контроль

Для цитирования: Николотов И.Н., Кулик С.Н., Борычев С.Н. Теоретические предпосылки к совершенствованию системы обслуживания транспортных средств в сельском хозяйстве // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 110-116 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.63.015>



Original article

THEORETICAL PREREQUISITES FOR IMPROVING THE VEHICLE MAINTENANCE SYSTEM IN AGRICULTURE

Ilya N. Nikolotov¹✉, Sergey N. Kulik², Sergey N. Borychev³^{1,2,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia¹ morshanskatp@mail.ru² kulik.s.n@yandex.ru³ university@rgatu.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The reliability of the technical system is one of the key elements of the production process. For effective operation, it is not enough just to keep motor transport in good condition, but it is also necessary to be able to predict the failure of its systems, assemblies, and components. Currently, routine maintenance is used for this purpose (at intervals set by the manufacturer and adjusted for operating conditions), including TO-1, TO-2, and CO (seasonal maintenance), which performs control, diagnostic, adjustment, and other operations, as well as the replacement of consumables. At the same time, due to a number of independent factors, failures often occur in the intervals between them. Therefore, the purpose of this study is to develop a methodology and means to determine the need for replacement of vehicle braking system elements, bypassing standard methods such as instrumental monitoring.

Methodology. During the experiment, methods of instrumental control of the elements of the car's brake system were applied: the residual thickness (the thickness up to the rivets attaching them to the brake pads is taken into account) of the brake pads and the inner diameters of the brake drums. The data was analyzed using the correlation and regression method of processing random variables. The KamAZ 5320 group of vehicles was chosen as the object of research.

Results. Instrumental control within the framework of sequential technical maintenance (TO-2) allowed us to establish a relationship between the remaining life of the brake pads of the vehicle and their operating time under different operating conditions. Having predicted with the help of the developed algorithm the moment of the onset of the critical condition of the element (first of all, the brake pad on the left wheel), it was decided to replace it at the next service (preceding this critical moment).

Conclusion. The data obtained during the experiment (in relation to the KamAZ 5320 car) served as the basis for making a forecast about the need for maintenance of the vehicle's braking system. An algorithm for determining the failure of one or more elements of the vehicle's braking system, depending on its operating time, was used as an analytical module. The forecast was verified using instrumental monitoring of the car's brake pads, which confirmed its reliability.

Key words: brake pad, lining, vehicle, instrumental control

For citation: Nikolotov I.N., Kulik S.N., Borychev S.N. Theoretical prerequisites for improving the vehicle maintenance system in agriculture // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No.2, P.110-116 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.63.015>

Введение

Эволюция автомобильных тормозных систем привела к вытеснению на большинстве легковых автомобилей тормозов с барабанными фрикционными частями системами, где используются диски. Данный факт, впрочем, не отменяет того, что барабанные тормоза по-прежнему используются в автомобилестроении (в первую очередь, на грузовом транспорте и специальной технике); основная причина – относительно невысокая стоимость производства и высокая надежность конструкции барабанного тормоза [1, 2].

В настоящее время барабанные тормоза устанавливаются преимущественно на задних колесах. Наибольшее распространение получила следующая конструкция барабанного тормоза:

- неподвижная часть тормозной системы (щиток) монтируется на задний мост,
- подвижная часть (барабан) – на ступицы

задних колес.

Щиток служит основанием для тормозного цилиндра и колодок. При нажатии на педаль тормоза рабочее тело (тормозная жидкость) начинает двигать поршень цилиндра (повышается давление жидкости). Поршень, в свою очередь, сообщает движение колодкам, которые соприкасаются с барабаном. В результате движение колеса, на котором установлен барабан, замедляется и в конечном итоге останавливается. В целях сохранения целостности тормозных колодок и удержания их на месте в конструкции предусмотрены специальные пружины.

Тормозные колодки отличаются одна от другой, их еще называют ведущей и ведомой. Принципиальное отличие – в воздействии на движение колеса. Ведущая колодка (расположена по направлению движения колеса) при движении начинает препятствовать вращению колеса под действием



силы трения и притягиваясь к барабану. Ведомая колодка производит меньшую работу ввиду «отхода» от барабана.

В результате такое устройство не обеспечивает должного усилия колодки на барабан (из-за разницы воздействия колодок суммарный эффект снижается). Соответственно, требуется большее время для торможения.

Как уже указывалось выше, главным недостатком первых барабанных тормозов была необходимость постоянного контроля зазора между барабаном и накладками колодок. Современные тормозные барабанные системы саморегулируемые. Впрочем, ручные (стояночные) тормоза все равно требуют периодического осмотра и отладки [3-6]. Для этих целей конструкцией предусмотрена возможность регулировать длину распорной стойки (распорного кулака) путем поворота регулировочной гайки в нужную сторону.

Исходя из принципа работы ведущей и ведомой колодок, неизбежен вывод о том, что износ соответствующей накладки будет неравномерным [6, 7]. Накладка ведущей колодки изнашивается быстрее, в то время как у ведомой колодки степень износа может быть намного меньше. А учитывая, что, в отличие от легковых, на грузовых автомобилях для определения остаточного ресурса накладок требуется ряд разборочных операций (снятия колеса, тормозного барабана, а в некоторых случаях и ступицы), то весьма актуальной задачей является разработка методов контроля состояния элементов тормозной системы [8, 9].

Материалы и методы исследования

Вероятность безотказной работы $P(t)$ рабочей тормозной системы транспортного средства можно определить из выражения:

$$P(t) = 1 - P^* \quad (1)$$

где: P^* – вероятность отказа системы.

Вероятность отказа тормозной системы можно выразить через формулу сложения вероятностей совместных событий (для примера приведена система с четырьмя тормозными механизмами):

$$P^* = P(A+B+C+D) = P(A) + P(B) + P(C) + P(D) - P(AB) - P(AC) - P(AD) - P(BC) - P(BD) - P(CD) \quad (2)$$

где: $P(A), P(B), P(C), P(D)$ – вероятности отказа каждого механизма в отдельности;

$P(AB), P(AC), P(AD), P(BC), P(BD), P(CD)$ – условные вероятности наступления отказа более чем одного механизма.

Вероятность отказа нескольких механизмов найдем как:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B) \text{ – для двух механизмов.}$$

Вероятность выхода из строя каждого из механизмов в зависимости от условий эксплуатации транспортного средства могут быть определены экспериментальным путем [10, 11]. Для упрощения процесса определения момента проведения операций по техническому обслуживанию рабочей тормозной системы транспортного средства был разработан следующий алгоритм (рис. 1).

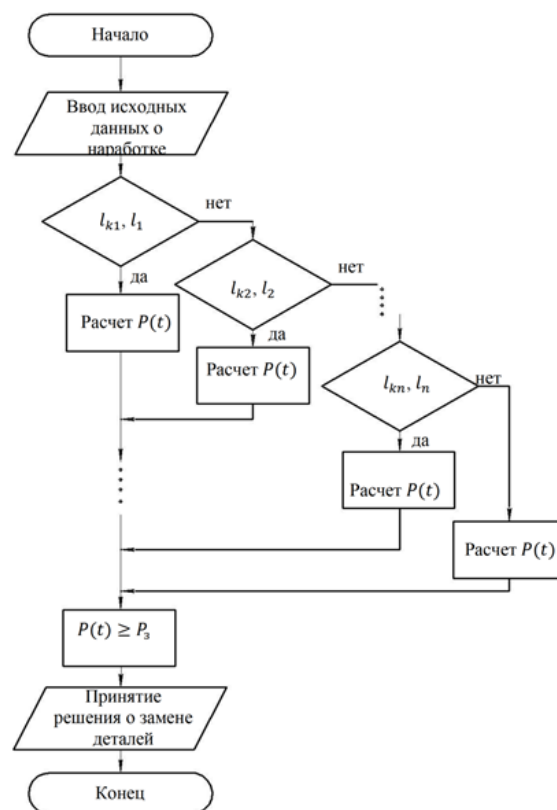


Рис. 1 – Алгоритм программы

$l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kn}$ – величина наработки колодки;
 $l_1, l_2, \dots, l_n$ – величина наработки тормозного барабана;

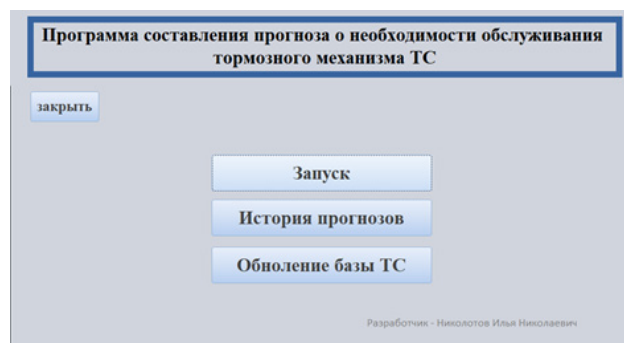
P_3 – допустимый предел вероятности безотказной работы системы.

Fig. 1 – Program algorithm

$l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kn}$ – operating time; $l_1, l_2, \dots, l_n$ – operating time of the brake drum; P_3 – the permissible limit of the probability of trouble-free operation of the system

При этом если установлена зависимость изменения остаточного ресурса элементов тормозной системы транспортного средства (в первую очередь тормозных колодок) в зависимости от условий эксплуатации и пробега, то с высокой точностью можно установить момент проведения технического обслуживания.

Визуализация представленного выше алгоритма с учетом входных параметров может выглядеть следующим образом (рис. 2).





ВВОД МОДЕЛИ ТС

Модель ТС:

Торм. барабан 1, тыс. км:

Торм. барабан 2, тыс. км:

Торм. барабан 3, тыс. км:

Торм. барабан 4, тыс. км:

Торм. колодка 1, тыс. км:

Торм. колодка 2, тыс. км:

Торм. колодка 3, тыс. км:

Торм. колодка 4, тыс. км:

Торм. колодка 5, тыс. км:

Торм. колодка 6, тыс. км:

Торм. колодка 7, тыс. км:

б

Условия проведения работ

тип дорожного покрытия:

режим движения:

степень загрузки ТС:

Пригородные перевозки

Город с населением от 100 тыс. человек

Город с населением от 1 до 5 млн. человек

Город с населением от 100 до 250 тыс. человек

Город с населением от 250 тыс. до 1 млн. человек

Город с населением свыше 5 млн. человек

в

Программа составления прогноза о необходимости обслуживания тормозного механизма ТС

Требуется замена колодок:

- на заднем правом колесе
- на заднем левом колесе

Разработчик - Николотов Илья Николаевич

г

Рис. 2 – Визуализация алгоритма программы
 а – основное меню; б – ввод марки и модели ТС;
 в – ввод параметров; г – вывод результата
 Fig. 2 – Visualization of the algorithm of the program
 а – the main menu; б – the model of the brand and model
 of the vehicle; в – input of parameters;
 г – output of the result

Объектом исследований выступала группа автомобилей семейства КамАЗ. На этапе предварительной подготовки был выполнен инструментальный контроль элементов тормозной системы – тормозных барабанов (оценивали внутренний их диаметр и соответствие нормативной документации). Так как тормозные колодки перед началом эксперимента подлежали замене, то замеры их параметров не проводились.

Исходные данные:

- объект номер 1 – КамАЗ 5320, год выпуска 1996, диаметр 383,3 мм;
- объект номер 2 – КамАЗ 5320, год выпуска 1999, диаметр 382,5 мм;
- объект номер 3 – КамАЗ 5320, год выпуска 2000, диаметр 382,2 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

При проведении эксперимента по исследованию изменений состояния элементов тормозной системы транспортных средств контролю подлежали следующие параметры:

x_1 – пробег транспортного средства после установки новых тормозных колодок, км;

x_2 – интенсивность работы. Были установлены две вариации данного параметра: $x_2=1$, т.е. автомобиль использовали при внутрихозяйственных перевозках (нагрузка на тормозную систему транспортного средства была минимальна); $x_2=2$ – транспортное средство использовали для перевозки грузов по дорогам общего пользования на относительно дальние расстояния (более км).

Через определенные промежутки времени (равные периодичности проведения ТО-2) элементы тормозной системы транспортного средства подвергались инструментальному контролю (за «у» был принят параметр, характеризующий площадь боковой поверхности накладок тормозной колодки).

Для новой тормозной колодки у соответствует 5271,44 мм², для колодки, подлежащей замене $y=4021,65$ мм².

Таблица 1 – Результаты замеров

у, тыс. мм ²	x_1 , тыс. км	x_2
объект номер 1		
5,06	9,6	2
4,96	19,3	1
4,8	28,9	1
4,54	38,5	2
4,34	48,2	2
4,14	57,8	2
объект номер 2		
5,07	9,6	2
4,95	19,2	1
4,79	28,8	1
4,52	38,4	2
4,33	48,0	2



4,13	57,6	2
объект номер 3		
5,04	9,7	2
4,96	19,3	1
4,81	28,8	1
4,55	38,5	2
4,34	48,1	2
4,14	57,7	2

Обработав данные экспериментальных исследований (табл.1) были получены зависимости, на основании которых построены следующие графики (рис. 3). Согласно графикам рисунка 3 критическое состояние тормозных колодок транспортных средств наступает в интервале между техническими обслуживаниями (независимо от объекта исследований и сопутствующих факторов, не учтённых в модели, например манера вождения водителя ТС). Следовательно, при очередном регламентном ТО-2 (в рамках эксперимента, в штатном режиме обслуживание тормозного механизма при отсутствии явных причин производится лишь при сезонном обслуживании) инструментальный контроль не выявил бы дефекта накладок, и транспортные средства продолжили бы работу. При этом эффективность функционирования тормозных механизмов не соответствовала бы установленным требованиям и при неблагоприятных стечениях обстоятельств могла бы стать причиной

ДТП.

При внесении соответствующих данных в разработанную программу – прогноз был следующим: все три объекта не смогут достигнуть следующего регламентного обслуживания на отметке в 67,2 тыс. км (с момента замены тормозных колодок) без критического износа накладок тормозных колодок.

Учитывая интервалы между обследованием, данной величины было бы недостаточно – следовательно, наиболее рациональным решением была бы их замена.

На смоделированных при помощи полученных уравнений регрессии отметках (пробегах) для каждого опытного образца в отдельности (6,65; 6,7 и 6,75 тыс. км соответственно) были установлены критические параметры накладок тормозных колодок, что говорит о высокой точности разработанной программы.

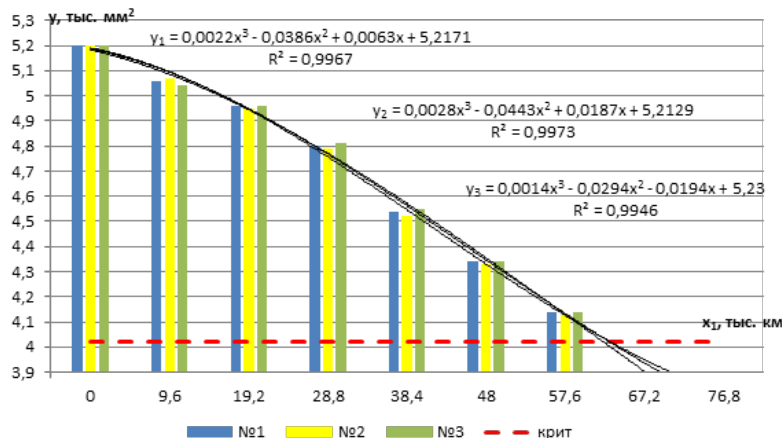


Рис. 3 – Графики изменения боковой поверхности накладок тормозной колодки

Y_1 ; Y_2 ; Y_3 – уравнения регрессии по данным объекта 1, 2 и 3 соответственно

Fig. 3 – Graphs of changes in the side surface of the brake pads

Y_1 ; Y_2 ; Y_3 – regression equations according to object data 1, 2 and 3, respectively

Заключение

Учитывая трудоемкость (согласно регламенту инструментальный контроль остаточного ресурса накладок тормозных колодок производится лишь при частичном разборе тормозного колеса автомобиля и с периодичностью в 14,4-22 тыс. км, т.е. при сезонном обслуживании) разработанный алгоритм определения необходимости технического обслуживания тормозного механизма позволит существенно снизить трудоемкость работ, т.к. они будут совмещены с регламентным обслуживанием.

Список источников

1. Перевертов, В. П. К вопросу безопасности движения транспортно-технологических систем и

надежности технических средств / В. П. Перевертов, Н. А. Кузин // Надежность и качество сложных систем. – 2024. – № 2(46). – С. 126-133. – DOI 10.21685/2307-4205-2024-2-15. – EDN VLFLXK.

2. 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.

3. Патент № 2452880 С1 Российская Федерация, МПК F16D 66/02, F16D 65/08. Устройство информирования водителя о предельном износе



тормозной накладке : № 2010142377/11 : заявл. 15.10.2010 : опубл. 10.06.2012 / И. Н. Николотов, Е. А. Карцев, Г. Д. Кокорев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN AOXHCG.

4. Николотов, И. Н. Особенности поддержания тормозной системы автомобиля в исправном состоянии / И. Н. Николотов, С. Н. Кулик // Инновационное развитие аграрной науки: традиции и перспективы, Рязань, 22 ноября 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 222-227. – EDN IGBXML.

5. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Н. В. Бышов, С. Н. Бoryчев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 81. – С. 390-400. – EDN PETIBH.

6. Николотов, И. Н. Техническое обслуживание отдельных систем транспортных средств / И. Н. Николотов, С. Н. Кулик // Инновационное развитие аграрной науки: традиции и перспективы, Рязань, 22 ноября 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 227-233. – EDN POJRCQ.

7. Карпиевич, Ю. Д. Работа трения как интегральный показатель степени выработки ресурса тормозных накладок автомобиля / Ю. Д. Карпиевич, А. Ф. Безручко, В. В. Михалков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 4. – С. 84-87. – EDN OYRXSH.

8. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы / Н. В. Бышов, С. Н. Бoryчев, Г. Д. Кокорев [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12(87). – С. 179-184. – EDN RRUUZ.

9. Методика построения матрицы состояний диагностических параметров тормозной системы автомобиля / И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев, И. Н. Николотов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 628-649. – EDN SGTOT.

10. Гусейнов, Р. В. Диагностирование тормозных систем автотранспортных средств в условиях эксплуатации / Р. В. Гусейнов, К. А. Алиева, М. Н. Нажмудинова // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 92-103. – DOI 10.12731/2227-930X-2022-12-1-92-103. – EDN NIMHEO.

11. Андреев, А. О. Анализ стенов для диагностики тормозной системы грузовых автомобилей / А. О. Андреев, Ф. Х. Халиуллин // Уральский научный вестник. – 2023. – Т. 9, № 8. – С. 70-77. – EDN PPTQQQ.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Perevertov, V. P. *K voprosu bezopasnosti dvizheniya transportno-tekhnologicheskikh sistem i nadezhnosti tekhnicheskikh sredstv* / V. P. Perevertov, N. A. Kuzin // *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*. – 2024. – № 2(46). – С. 126-133. – DOI 10.21685/2307-4205-2024-2-15. – EDN VLFLXK.
2. 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). – С. 72-75. – EDN KZOGSB.
3. Patent № 2452880 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16D 66/02, F16D 65/08. *Ustroystvo informirovaniya voditelya o predel'nom iznose tormoznoy nakladki* : № 2010142377/11 : заявл. 15.10.2010 : опубл. 10.06.2012 / И. Н. Николотов, Е. А. Карцев, Г. Д. Кокорев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN AOXHCG.
4. Nikolotov, I. N. *Osobennosti podderzhaniya tormoznoy sistemy avtomobilya v ispravnom sostoyanii* / I. N. Nikolotov, S. N. Kulik // *Innovatsionnoye razvitiye agrarnoy nauki: traditsii i perspektivy, Ryazan', 22 noyabrya 2024 goda*. – Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet im. P.A. Kostycheva, 2024. – С. 222-227. – EDN IGBXML.
5. Periodichnost' kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya 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*. – 2012. – № 81. – С. 390-400. – EDN PETIBH.
6. Nikolotov, I. N. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye otdel'nykh sistem transportnykh sredstv* / I. N. Nikolotov, S. N. Kulik // *Innovatsionnoye razvitiye agrarnoy nauki: traditsii i perspektivy, Ryazan', 22 noyabrya 2024 goda*. – Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet im. P.A. Kostycheva, 2024. – С. 227-233. – EDN POJRCQ.
7. Karpiyevich, YU. D. *Rabota treniya kak integral'nyy pokazatel' stepeni vyrabotki resursa tormoznykh nakladok avtomobilya* / YU. D. Karpiyevich, A. F. Bezruchko, V. V. Mikhalkov // *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. – 2024. – № 4. – С. 84-87. – EDN OYRXSH.



8. Razrabotka tablitsy sostoyaniy i algoritma diagnostirovaniya tormoznoy sistemy / N. V. Byshov, S. N. Borychev, G. D. Kokorev [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2013. – № 12(87). – S. 179-184. – EDN RRUUUZ.
9. Metodika postroyeniya matritsy sostoyaniy diagnosticheskikh parametrov tormoznoy sistemy avtomobilya / I. A. Uspenskiy, G. D. Kokorev, I. N. Nikolotov [i dr.] // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 99. – S. 628-649. – EDN SGT0IT.
10. Guseynov, R. V. Diagnostirovaniye tormoznykh sistem avtotransportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii / R. V. Guseynov, K. A. Aliyeva, M. N. Nazhmudinova // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – T. 12, № 1. – S. 92-103. – DOI 10.12731/2227-930X-2022-12-1-92-103. – EDN NIMHEO.
11. Andreyev, A. O. Analiz stendov dlya diagnostiki tormoznoy sistemy gruzovykh avtomobiley / A. O. Andreyev, F. KH. Khaliullin // Ural'skiy nauchnyy vestnik. – 2023. – T. 9, № 8. – S. 70-77. – EDN PPTQQQ.

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

Николотов Илья Николаевич, соискатель, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», morshanskatp@mail.ru

Кулик Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kulik.s.n@yandex.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

Nikolotov Ilya N., PhD Candidate, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, morshanskatp@mail.ru

Kulik Sergey N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kulik.s.n@yandex.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 12.05.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 04.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.





Вестник РГАТУ, 2025, т.17, №2, с. 117-123
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp.117-123

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 636.2.034/612.11:612.12
DOI: 10.36508/RSATU.2025.71.64.016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

Ксения Олеговна Оковитая¹✉, Александр Владимирович Барышников², Владислав Александрович Белоцерковец³, Олег Арсеньевич Суржко⁴

^{1,3,4} ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

² ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия

¹ mellootello@gmail.com

² aleksey080283@yandex.ru

³ belotserkovetsvladislav@yandex.ru

⁴ mr.surzhkooa@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Статья посвящена проблеме утилизации послеспиртовой барды, обладающей высокой питательной ценностью – отхода спиртового производства – которая при неправильной утилизации загрязняет окружающую среду. Рассмотрены существующие методы переработки барды, включая получение сухого кормового продукта, аэробную и анаэробную переработку. Предложено использование лопастных сушилок с горячей бардой в качестве теплоносителя, что снижает энергозатраты и позволяет получить высокобелковый кормовой продукт. Технология соответствует критериям наилучших доступных технологий (НДТ), обеспечивая экологическую безопасность и экономическую эффективность.

Методология. Методология статьи включает анализ существующих технологий утилизации послеспиртовой барды, выявление их недостатков и предложение нового подхода с использованием лопастных сушилок, где в качестве теплоносителя применяется горячая барда. Авторы оценивают экологическую безопасность и экономическую эффективность предложенной технологии, обосновывая ее преимущества перед традиционными методами.

Результаты. Разработана технология утилизации послеспиртовой барды с использованием лопастных сушилок, где горячая барда служит теплоносителем. Метод снижает энергозатраты, исключает образование пыли и конденсата, а также позволяет получить высокобелковый кормовой продукт.

Заключение. Технология демонстрирует экологическую и экономическую эффективность, предлагая устойчивое решение для утилизации отходов спиртового производства и снижения нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: послеспиртовая барда, утилизация отходов, наилучшие доступные технологии, лопастные сушилки, экологическая безопасность, энергоэффективность.

Для цитирования: Оковитая К.О., Барышников А.В., Белоцерковец В.А., Суржко О.А. Использование низкотемпературного тепла при утилизации послеспиртовой барды // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.2, С.117-123 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.64.016>

Original article

THE USE OF LOW-TEMPERATURE HEAT IN THE DISPOSAL OF POST-ALCOHOL WASTE

Kseniya O. Okovitaya¹✉, Aleksandr V. Baryshnikov², Vladislav A. Belocerkovets³, Oleg A. Surzhko⁴

^{1,3,4} South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

¹ mellootello@gmail.com

² aleksey080283@yandex.ru

³ belotserkovetsvladislav@yandex.ru

© Оковитая К.О., Барышников А.В., Белоцерковец В.А., Суржко О.А., 2025 г.

⁴ mr.surzhkooa@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of recycling of post—alcohol bard - waste from alcohol production, which, if improperly disposed of, pollutes the environment. The existing methods of processing bards, including the production of dry feed, aerobic and anaerobic processing, are considered. The use of vane dryers with a hot bard as a coolant is proposed, which reduces energy consumption and makes it possible to obtain a high-protein feed product. The technology meets the criteria of the best available technologies, ensuring environmental safety and economic efficiency.

Problem and purpose. Post-alcohol bard, which has a high nutritional value, pollutes the environment when improperly disposed of, which requires the introduction of environmentally friendly and cost-effective recycling technologies. Development and justification of barda recycling technology based on the best available technologies using paddle dryers to reduce the environmental burden and increase economic efficiency.

Methodology. The methodology of the article includes an analysis of existing technologies for the disposal of post-alcohol bard, the identification of their shortcomings and the proposal of a new approach using paddle dryers, where hot bard is used as a coolant. The authors assess the environmental safety and economic efficiency of the proposed technology, justifying its advantages over traditional methods.

Results. A technology has been developed for recycling post-alcohol bard using paddle dryers, where hot bard serves as a heat carrier. The method reduces energy consumption, eliminates the formation of dust and condensate, and also allows you to obtain high-protein feed.

Conclusion: The technology demonstrates environmental and economic efficiency, offering a sustainable solution for the disposal of alcohol production waste and reducing the burden on the environment.

Key words: post-alcohol bard, waste disposal, the best available technologies, paddle dryers, environmental safety, energy efficiency.

For citation: Okovitaya K.O., Baryshnikov A.V., Belotserkovets V.A., Surzhko O.A. The use of low-temperature heat in the disposal of post-alcohol waste // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 117-123 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.71.64.016](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.71.64.016)

Введение

В XXI веке экологизация становится одним из ключевых признаков инноваций, направленных на рациональное использование природных ресурсов и снижение загрязнения окружающей среды. В условиях современной российской экономики перед бизнесом стоит задача объединения трех взаимосвязанных приоритетов: экономической эффективности, экологической ответственности и социальной активности. Особое значение придается достижению синергетического эффекта, который возникает при реализации экологических инициатив и их долгосрочного влияния на финансово-экономические показатели и конкурентоспособность компаний, особенно в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Достижение этих целей возможно благодаря переходу на модель технологического нормирования, основанную на наилучших доступных технологиях.

Для успешного решения проблемы утилизации сельскохозяйственных отходов необходимо межотраслевое сотрудничество, направленное на разработку и внедрение инновационных технологий, соответствующих принципам НДТ. Такие технологии способны не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и повысить конкурентоспособность предприятий агропромышленного комплекса (АПК), привлекая дополнительные инвестиции. Особое внимание уделяется технологиям, минимизирующим вредное влияние перерабатывающих предприятий АПК на экологию. В 2017 году были разработаны и утверждены информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям [1-3].

Основными проблемами при утилизации послеспиртовой барды являются агрессивность для окружающей среды (низкая pH и высокая темпе-

ратура), большой объем и вместе с тем высокая питательная способность барды. Исходя из этого, разработаны разнообразные технологии утилизации, основанные на выпаривании, на получении биогаза, на выделении ценных компонентов из жидкой фазы барды. Именно этим обусловлено большое количество и разнообразие методов утилизации послеспиртовой барды. При этом необходимо отметить и работы по уменьшению выхода барды при производстве спирта, что позволит сократить затраты на её утилизацию.

Для реализации наилучших доступных технологий, в целях уменьшения энергопотребления технологическими процессами целесообразно в качестве вторичных ресурсов использовать энергетический потенциал отходов. Проблема полной утилизации барды с позиции энергоэффективности, ресурсосбережения и экологии актуальна и не решена полностью. В настоящее время существуют следующие технологии утилизации барды: получение сухого продукта за счёт сушки обезвоженной части барды (DDGS, DDG, DDS, WDG, CDG, WDGs) с различными вариантами обезвреживания жидкой фазы; получение кормовых дрожжей из цельной барды; мембранная технология с разделением барды на фазы и возвратом жидкой фазы в производство; биотехнология; консервация барды; упаривание фугата; аэробная переработка барды с получением концентрированных кормовых дрожжей; сбраживание барды с получением метана. Основным недостатком этих технологий являются высокие энергозатраты на сушку барды, что не отвечает требованиям энергоэффективности и ресурсосбережения.

Анализ данных показывает, что существует множество способов утилизации послеспиртовой барды, и необходимо предложить проектное ре-



шение, соответствующее критериям НДТ. Во всех технологиях утилизации необходимы высокие энергозатраты, что сдерживает их широкое внедрение.

Целью работы является разработка и обоснование одного из элементов наилучших доступных технологий для утилизации послеспиртовой барды и уменьшения энергозатрат на примере конкретного предприятия.

Послеспиртовая барда – это значительный объем отходов, образующихся при производстве спирта (до 15 литров на 1 литр спирта). Ее сброс приводит к загрязнению окружающей среды, хотя барда обладает высокой питательной ценностью, так как содержит весь белок зерна. В России барда используется ограниченно, преимущественно для кормления крупного рогатого скота в зимний период. Летом барда часто сбрасывается на поля фильтрации, что наносит значительный экологический ущерб. При этом барда могла бы частично восполнить дефицит кормового белка в животноводстве благодаря высокому содержанию протеина, витаминов и микроэлементов.

Существующие технологии утилизации барды не решают экологические проблемы в полной мере из-за высокой стоимости оборудования. Это негативно влияет на себестоимость готовой про-

дукции – сухой барды. Основные нерешенные проблемы включают неэффективные и сложные схемы обработки барды, высокие энергозатраты и недостаточное использование ресурсосберегающих технологий.

Таким образом, актуальной задачей является разработка экологически безопасных технологий, которые позволят снизить негативное воздействие спиртзаводов на окружающую среду.

Материалы и методы исследований

Теоретические исследования проблемы разработки и внедрения НДТ проводили по источникам научно-технической и патентной информации России и других экономически развитых стран мира.

В последние годы произошли значительные изменения в подходах и технологиях использования возобновляемого сырья. Благодаря глубоким исследованиям и разработкам стало возможным эффективное применение возобновляемых ресурсов. Сегодня доступны передовые технологии энергетического и промышленного использования растительного сырья [4-6]. Схема обеспечения наиболее экономически выгодного ресурсосбережения представлена на рисунке 1. По большинству позиций приведенная схема подходит для реализации ресурсосберегающей технологии утилизации барды.



Рис. 1 – Мероприятия для обеспечения экономически выгодного ресурсосбережения
Fig.1 – Measures to ensure cost-effective resource conservation

Известна технология переработки барды с получением высокобелковых кормовых препаратов. На первом этапе барда разделяется на фракции: жидкую, биомассу спиртовых дрожжей и дробину (остатки зерна, содержащие целлюлозу и гемицеллюлозу). Жидкая фракция упаривается, после чего на ней выращиваются кормовые дрожжи рода *Pichia*, способные утилизировать глицерин, который преобладает в жидкой фазе. В результате культивирования получают биомассу дрожжей с содержанием белка не менее 60 %.

Одним из наиболее экологичных решений утилизации барды является получение биогаза, который может использоваться как энергоноситель при производстве спирта. Анаэробная переработка барды имеет преимущества перед другими методами, так как не зависит от цен на энергоносители. Продуктом такой переработки является биогаз, содержащий 70-80 % метана. Энергетический потен-

циал биогаза составляет 20-27 МДж/н·м³. Состав и выход биогаза зависят от химического состава отходов, режима процесса и могут варьироваться в широких пределах: метан (CH₄) – 55-80 %, углекислый газ (CO₂) – 15-45 %, азот (N₂) – до 5 %, кислород (O₂) – до 3%, сероводород (H₂S) – до 3 %. Утилизация пшеничной барды в биогазовых установках позволяет получить 36 м³ биогаза с одной тонны барды [7-9].

Содержание спирта в бражке в среднем 8,32 % об. При этой крепости выход барды составляет 13,4 дал на 1 дал спирта, с учетом перспективы развития: 13,4·1800 = 24120 дал, или 241,2 м³/сутки. С учётом средней плотности барды 1,04 т/м³ масса барды составит 241,2 м³/сутки·1,04т/м³ = 250,85 т/сутки. При круглосуточной работе производства выход барды составляет 10,05 м³/час.

Выход спирта из 1т условного крахмала пше-



ницы составляет 67,5 дал, в том числе надбавка на полную замену солода принята в размере 0,7 дал/т условного крахмала за счет применения для разжижения и осахаривания микрофобных

ферментов Термамил 120Л и Сан Супер 240Л.

Усредненный состав пшеницы приведен в таблице.

Таблица – Усредненный состав пшеницы, поступающий на спиртзавод

Наименование	Содержание	
	%	На 1800 дал спирта, т
Сухие вещества, всего:	86	41,7
Сбраживаемые (крахмал)	55	26,67
Не сбраживаемые (переходящие в барду)	31	$48,49 \cdot 31/100 = 15,03$
Вода	14	$48,49 \cdot 14/100 = 6,69$
Всего:	100	48,49

Согласно расчётам, приведенным в таблице количество крахмала, необходимого для выработки 1800 дал спирта, составит $1800/67,5 = 26,67$ т, а количество зерна пшеницы для получения 1800 дал спирта – $26,67 \cdot 100\%/55\% = 48,49$ т, где 55 – среднее содержание крахмала (в процентах) в товарном зерне пшеницы, получаемое после хранения в элеваторе, с влажностью 14%.

Массовая доля абсолютно сухих веществ в барде с учетом средней плотности $1,04 \text{ т/м}^3$ составляет: $15,03/241,2 \cdot 1,04 \cdot 100 = 6,0\%$.

Обезвоживание охлажденной барды производим в центрифугах до влажности 65 % с последующей сушкой кека до влажности 10%.

Особого внимания заслуживают разработки позволяющие уменьшить выход барды за счет совершенствования технологии производства спирта. Такие работы выполнены на предприятии ООО «НПО Высокие технологии» г.Казань. Благодаря дополнительной установке отгонной колонны объем получаемой барды сокращается примерно на 30%. Это позволяет экономить энергоресурсы при сушке барды или мокрого кека с центрифуг.

Анализ коммерческих предложений позволил сделать вывод, что наиболее эффективно для сушки барды является лопастная сушилка [10-12].

Лопасты, расположенные внутри пустотелого вала, обеспечивают эффективную теплопередачу и равномерное перемешивание продукта. Они не выполняют транспортную функцию, а предназначены для равномерного распределения продукта и обеспечения интенсивного теплообмена в процессе сушки. Высушенный продукт выводится через специальную заслонку в конце установки. В процессе перемешивания продукт активно взаимодействует с валом, лопастями и корпусом сушилки, которые нагреваются изнутри теплоносителем. Конструкция сушилки с медленно вращающимися лопастями практически исключает образование пыли. Лопастная сушилка работает по принципу косвенного высушивания, что имеет ряд преимуществ по сравнению с прямым методом:

1) продукт не контактирует с нагревающей средой;

2) медленное вращение лопастей предотвра-

щает образование пыли;

3) специальная форма лопастей обеспечивает интенсивный контакт продукта и большую площадь теплопередачи;

4) отсутствует необходимость использования инертного газа;

5) обогреваемая крышка установки исключает образование конденсата.

Дополнительным преимуществом является пыленепроницаемое покрытие сушилки, которое позволяет использовать ее в условиях вакуума или повышенного давления. В условиях вакуума процесс сушки при температуре теплоносителя 105°C проходит значительно быстрее.

На основе анализа литературных источников и проведенных экспериментальных исследований разработана новая ресурсосберегающая технология, позволяющая полностью утилизировать послеспиртовую барду. Ключевой особенностью предложенного метода является применение усовершенствованной сушилки, в которой для сушки обезвоженного осадка используется тепловая энергия самой горячей барды (105°C).

Авторами проведены теплотехнические расчеты и предложены конструктивные доработки сушилки, где в качестве теплоносителя выступает нагретая барда. Это решение обеспечивает:

– снижение энергозатрат на сушку твердой фазы;

– отказ от дополнительного этапа охлаждения;

– ускорение процесса за счет исключения времени на остывание барды перед дальнейшей переработкой (что является обязательным в традиционных технологиях).

В результате внедрения данной технологии значительно сокращаются капитальные затраты, в частности, на строительство приемных резервуаров и других емкостных сооружений.

Обсуждение результатов и обоснование технического решения

В предложенной авторами статьи схеме в качестве теплоносителя для лопастных сушилок используется барда с температурой $100-105^\circ \text{C}$. На схеме представлены две последовательно расположенные сушилки, в каждую из которых подается



теплоноситель.

На рисунке 2 представлена схема использования тепловой энергии послеспиртовой барды,

разработанная с использованием методологии построения малоотходных и энергоэффективных технологий.



Рис.2 – Блок последовательно расположенных лопастных сушилок

Fig.2 – Block of sequentially arranged blade dryers

Горячая барда является теплоносителем для первой лопастной сушилки кека и для второй, где происходит досушивание этого же кека до необходимой влажности. Барда, отдавшая тепло в лопастных сушилках по температуре подготовлена для обезвоживания в центрифуге до влажности 65 %. Остывшая барда, использованная в качестве теплоносителя в сушилках, поступает либо в отстойники сгустители, либо в тонкослойные отстойники. Образующийся осадок направляют в центрифугу, где образуется кек влажностью 65 %.

Пар, образующийся в сушилках, является низкотемпературным тепловым отходом, поэтому его целесообразно использовать для нагрева воды и для последующего использования при замачивании сырья и приготовлении замеса в основном производстве. Для этой цели можно использовать кожухотрубные теплообменники или тепловые насосы.

Авторами был выполнен расчет часового материального баланса для полной утилизации послеспиртовой барды на спиртовом заводе с производительностью 1800 дал/сут. В ходе анализа определен количественный состав компонентов барды на различных этапах её переработки. При плотности барды 1,06 т/м³ требуется обезвоживание 129,34 т/сут осадка с влажностью 94 %. Часовая производительность механического оборудования при этом составит 5,39 т/час. В процессе центрифугирования образуется кек массой 38 т/сут с влажностью 65 %. С учетом проектной степени сушки кека до влажности 10 % необходимо удалить 24,32 т/сут (или 1010 кг/час) влаги, что потребует 639 кВт тепловой энергии. При расчетном коэффициенте теплопередачи 427 Вт/м²·К площадь теплообмена каждой сушилки составит примерно 17,5 м². Для данного примера подбираем лопастную вакуумную сушилку Gauda ZB-300 с площадью нагрева 19,3 м².

Установлен состав высушенной барды, %: сухие вещества – 90,11; органические вещества – 85,89, включая клетчатку – 11,0; аминокислоты – 36,24; безазотистые экстрактивные вещества – 33,63; зола – 4,11; сырой жир – 5,06. Количественное содержание растворенных аминокислот (г/л) в сыром протеине: глутаминовая кислота – 1,67;

аспарагиновая кислота – 0,39; пролин – 0,54; аланин – 0,28; глицин – 0,26; лизин – 0,41; фенилаланин – 0,29; валин – 0,33.

Ключевым преимуществом данной технологии является снижение энергозатрат на сушку барды, возможность получения прибыли от реализации кормовой добавки и концентрата аминокислот, а также сокращение расходов на закупку природной воды.

Заключение

Приведенные практические расчеты для спиртзавода производительностью 1800 дал показали преимущества использования энергетического потенциала послеспиртовой барды. Основным элементом наилучших доступных технологий в предложенной схеме сушки кека послеспиртовой барды являются лопастные сушилки, где в качестве теплоносителя используется горячая барда с температурой 100-105°С. Экономия тепловой энергии на примере нашего расчета составит 639 кВт. Этот метод значительно экономичнее, чем упаривание барды с влажностью 90 % в выпарных установках. В результате сушки получается продукт, обогащенный белками и аминокислотами (до 30-40 % по массе) и конденсат, используемый в производстве спирта. Получаем экономию водных ресурсов — 1010 кг/ч. На спиртзаводах барда охлаждается естественным путем, что занимает много времени, особенно в летний период в южных регионах. По предлагаемой технологии после сушилки охлажденная барда сразу готова для обезвоживания в центрифугах, что предотвращает ее закисание. Получаем экономию временных ресурсов.

Таким образом, элементами наилучших доступных технологий являются использование тепла горячей барды для сушки кека, ускорение процесса охлаждения барды и экономия водных ресурсов, что повышает экономическую эффективность утилизации послеспиртовой барды. Использование низкотемпературного тепла пара, поступающего из сушилок, является энергосберегающим элементом НДТ. В дальнейших работах будет спроектирована автоматическая система управления использованием тепла горячей барды и пара, поступающего из сушилок.



Список источников

1. Арсеньев Д.В., Ежков А.А. Реинжиниринг спиртовых производств-комплексный подход к проблеме утилизации послеспиртовой барды // Производство спирта и ликероводочных изделий. - М.: Пищепромиздат, 2019, №2, с. 14-15.
2. Голубев, И. Г. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И. Г. Голубев, И. А. Шванская, Л. Ю. Коноваленко и др. // М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. С. 5-14.
3. Дыганова Р.Я. Разработка методики выбора технологии переработки отходов спиртовой промышленности как инструмента экологического менеджмента / Р.Я. Дыганова, Ю.С. Беляева // Известия самарского научного центра российской академии наук, 2014. - Т.16, №4(2). - С. 1728-1736.
4. Андросов А.Л. Промышленные технологии переработки послеспиртовой барды / А.Л. Андросов, И.А. Елизаров, А.А. Третьяков // Вестник ТГТУ. - 2010. - Т.16. - С.954-963.
5. Дейнека А.П. Проблемы переработки отходов спиртового производства / А.П. Дейнека, О.Н. Калинихин // Министерство образования и науки Донецкой народной республики ГОУ ВПО Донецкий Национальный университет, Международная научная конференция «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». 2019. - С.230-232.
6. А.В. Журавлев, А.С. Марухин, А.В. Бородинкина Системное проектирование ресурсосберегающей

машинной технологии переработки послеспиртовой зерновой барды // ТППП АПК. 2015. №3 (7).

7. Шилова Ксения Михайловна, Шилова Надежда Ивановна Промышленные отходы в виде спиртовой барды и перспективы ее использования в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения // Вестник ОмГАУ. 2016. №2 (22).

8. Андросов А. Л., Елизаров И. А., Третьяков А.А. Промышленные технологии переработки послеспиртовой барды // Вестник ТГТУ. 2010. №4.

9. Кузнецов И. Н., Ручай Н. С. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2010. №4. С. 294-301.

10. Долгов А. Н., Агафонов Г.В., Зуева Н. В. Основные экологические проблемы при утилизации отходов спиртового производства и пути их решения // Пиво и напитки. 2014. №4.

11. Агафонов Геннадий Вячеславович, Зуева Наталья Владимировна, Ключников Андрей Иванович, Яковлев Алексей Николаевич Сравнительная характеристика возможных технологий по переработке послеспиртовой барды // Вестник ВГУИТ. 2012. №3. С. 107-111.

12. Рагина М.А. Утилизация послеспиртовой барды в биогазовых установках // Научно-технический журнал "Экология и промышленность". - 2023. - № 4. - С. 45-52.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Arsen'ev D. V., Ezhkov A. A. *Reinzhiniring spirtovykh proizvodstv-kompleksnyj podhod k probleme utilizacii poslespirtovoj bardy* // *Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij*. - M.: Pishchepromizdat, 2019, №2, s. 14-15.
2. Golubev, I. G. *Recikling othodov v APK: spravochnik* / I. G. Golubev, I. A. Shvanskaya, L. YU. Konovalenko i dr. // M.: FGBNU «Rocinformagrotekh», 2011. S. 5-14.
3. Dyganova R. YA. *Razrabotka metodiki vybora tekhnologii pererabotki othodov spirtovoj promyshlennosti kak instrumenta ekologicheskogo menedzhmenta* / R. YA. Dyganova, YU. S. Belyaeva // *Izvestiya samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk*, 2014. - T.16, №4(2). - S. 1728-1736.
4. Androsov A. L. *Promyshlennye tekhnologii pererabotki poslespirtovoj bardy* / A. L. Androsov, I. A. Elizarov, A. A. Tretyakov // *Vestnik TGTU*. - 2010. - T.16. - S. 954-963.
5. Dejneka A. P. *Problemy pererabotki othodov spirtovogo proizvodstva* / A. P. Dejneka, O. N. Kalinihin // *Ministerstvo obrazovaniya i nauki Doneckoj narodnoj respubliki GOU VPO Doneckij Nacional'nyj universitet, Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Doneckie chteniya 2019: obrazovanie, nauka, innovacii, kul'tura i vyzovy sovremennosti»*. 2019. - S. 230-232.
6. A. V. Zhuravlev, A. S. Maruhin, A. V. Borodkina *Sistemnoe proektirovanie resursosberegayushchej mashinnoj tekhnologii pererabotki poslespirtovoi zernovoj bardy* // *TPPP APK*. 2015. №3 (7).
7. Shilova Kseniya Mihajlovna, Shilova Nadezhda Ivanovna *Promyshlennye othody v vide spirtovoj bardy i perspektivy ee ispol'zovaniya v sel'skom hozyajstve v kachestve organicheskogo udobreniya* // *Vestnik OmGAU*. 2016. №2 (22).
8. Androsov A. L., Elizarov I. A., Tretyakov A. A. *Promyshlennye tekhnologii pererabotki poslespirtovoj bardy* // *Vestnik TGTU*. 2010. №4.
9. Kuznecov I. N., Ruchaj N. S. *Analiz mirovogo opyta v tekhnologii pererabotki poslespirtovoj bardy* // *Trudy BGTU. Seriya 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*. 2010. №4. S. 294-301.
10. Dolgov A. N., Agafonov G. V., Zueva N. V. *Osnovnye ekologicheskie problemy pri utilizacii othodov spirtovogo proizvodstva i puti ih resheniya* // *Pivo i napitki*. 2014. №4.
11. Agafonov Gennadij Vyacheslavovich, Zueva Natal'ya Vladimirovna, Klyuchnikov Andrej Ivanovich, Yakovlev Aleksej Nikolaevich *Sravnitel'naya harakteristika vozmozhnyh tekhnologij po pererabotke*



poslespirtovoj bardy // Vestnik VGUIT. 2012. №3. S. 107-111.

12. Ragina M.A. Utilizaciya poslespirtovoj bardy v biogazovyh ustanovkah // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal "Ekologiya i promyshlennost". – 2023. – № 4. – S. 45-52.

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

Оковитая Ксения Олеговна, аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия, mellootello@gmail.com

Барышников Александр Владимирович, ст. препода. военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия, aleksey080283@yandex.ru

Белоцерковец Владислав Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия, belotserkovetsvladislav@yandex.ru

Суржко Олег Арсеньевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия, mr.surzhkooa@mail.ru

Author Information

Okovitaya Ksenia O., Postgraduate Student, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platon, Novocherkassk, Russia, mellootello@gmail.com

Baryshnikov Aleksandr V., Senior Lecturer of the Military Training Center, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, aleksey080283@yandex.ru

Belotserkovets Vladislav A. Postgraduate Student, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platon, Novocherkassk, Russia, belotserkovetsvladislav@yandex.ru

Surzhko Oleg A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety, South-Russian State Polytechnical University (NPI) named after M.I. Platon, Novocherkassk, Russia, mr.surzhkooa@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.04.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 10.06.2026.

The article was submitted 04.04.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 621.43.057
DOI: 10.36508/RSATU.2025.43.18.017

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТЯГОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРАКТОРА БЕЛАРУС - 922 ПРИ РАБОТЕ
НА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ БИОТОПЛИВАХ**

**Сергей Александрович Плотников¹✉, Николай Юрьевич Кутергин², Александр Леонидович
Бирюков³, Анатолий Николаевич Карташевич⁴**

^{1,2} ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

³ ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия», г. Вологда, Россия

⁴ Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Республика Беларусь

¹ PlotnikovSA@bk.ru

² nik03071983@yandex.ru

³ biryukov_alex@mail.ru

⁴ Kartashevich@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. оценка тяговых характеристик машинно-тракторного агрегата, полученных в полевых условиях при выполнении сельскохозяйственных операций.

Объекты исследований – трактор Беларус-922, смеси дизельного топлива, рапсового масла и этанола.

Методы исследований. эксплуатационные испытания. В полевых условиях использовался колесный трактор Беларус-922, плуг ПЛН-3-35, динамометрическая автосцепка, комплекс измерительных приборов и оборудования.

Ход эксперимента. Экспериментальным путем было осуществлено определение эффективных и топливно-экономических показателей работы машинно-тракторного агрегата, его энергетического КПД на различных комбинациях многокомпонентных биотоплив. Полученные данные эксперимента и последующих расчетов представлены в виде графиков.

Результаты и выводы. На основе экспериментальных исследований установлена возможность использования смеси топлив, включающей товарное, растительное и двухатомный спирт, для питания дизельного двигателя. Топливно-экономические показатели МТА, использующего заявленные компоненты до 15 % в объемных долях, позволяют зафиксировать уровень энергетического КПД мобильной системы, равноценный штатному ДВС.

Ключевые слова: биодобавки, полевые испытания, агротехнические условия, машинно-тракторный агрегат, энергетический КПД, потребляемая мощность, расход топлива, смешанное топливо.

Для цитирования: Плотников С.А., Кутергин Н.Ю., Бирюков А.Л., Карташевич А.Н. Результаты тяговых испытаний трактора беларус-922 при работе на многокомпонентных биотопливах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.124-129 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.43.18.017>

Original article

**RESULTS OF TRACTION TESTS OF THE BELARUS-922 TRACTOR WHEN OPERATING
ON MULTI-COMPONENT BIOFUELS**

Sergey A. Plotnikov¹✉, Nikolay Yu. Kutergin², Aleksandr L. Biryukov³, Anatoly N. Kartashevich⁴

^{1,2} Vyatka State University, Kirov, Russia

³ Vologda State Dairy Academy, Vologda, Russia

⁴ Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

¹ PlotnikovSA@bk.ru

² nik03071983@yandex.ru

³ biryukov_alex@mail.ru

⁴ Kartashevich@yandex.ru

**Abstract.**

Problem and purpose. assessment of traction characteristics of a tractor unit carried out in the field during agricultural operations.

Objects of research. tractor Belarus-922, a mixture of diesel fuel, rapeseed oil and ethanol

Methodology. operational tests. The Belarus-922 wheeled tractor, the plow PLN-3-35, the dynamometric automatic coupling, a complex of measuring instruments and the equipment were used in field conditions.

The course of the experiment. Operational tests. The Belarus-922 wheeled tractor, the plow PLN-3-35, the dynamometric automatic coupling, a complex of measuring instruments and the equipment were used in field conditions.

Results and conclusions. Based on experimental studies, the possibility of using a mixture of fuels, including commercial, vegetable and diatomic alcohol, to power a diesel engine has been established. The fuel and economic indicators of the MTA, which uses the declared components up to 15 % in volume fractions, make it possible to fix the energy efficiency level of the mobile system, equivalent to a standard internal combustion engine.

Key words: dietary supplements, field tests, agrotechnical conditions, machine and tractor unit, energy efficiency, power consumption, fuel consumption, mixed fuel.

For citation: Plotnikov S.A., Kutergin N.Yu., Biryukov A.L., Kartashevich A.N. Results of traction tests of the Belarus-922 tractor when operating on multicomponent biofuels // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 124-129 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.43.18.017>

Введение

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к альтернативным источникам энергии, что обусловлено необходимостью снижения зависимости от ископаемых видов топлива и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Одним из перспективных направлений в этой сфере следует принять использование биологических источников энергии. Следуя данным путем, как показывает опыт, можно снизить экологическую нагрузку за счет быстрой самоутилизации отходов, а также обеспечить производство неиссякаемыми источниками энергии.

Масло, добываемое при культивировании рапса, является одним из наиболее распространенных видов биодизеля. Оно обладает высокой энергетической ценностью и хорошими смазывающими свойствами, что декларирует его, как приемлемого заменителя. Данные исследований убедительно доказывают, что частичная замена товарного ДТ на биологические компоненты (продукты возделывания рапса, спирты низшего гомологического ряда) перспективна с экологической точки зрения в части снижения эмиссии в ОГ особо вредных и токсичных составляющих.

Двухатомный спирт-этанол также способен улучшить потребительские свойства моторного топлива, в первую очередь, протекание процесса самовоспламенения, фазовые характеристики сгорания. Учитывая, что он входит в группу оксигенатов, следует предполагать почти полное отсутствие твердого углерода, монооксидов и оксидов углерода, азотсодержащих газов, что делает его практически незаменимым.

Дополнительные исследования применения отмеченных добавок в дизелях универсально-пропашных тракторов также обусловлены необходимостью разработки новых технологий и методов, которые позволят оптимизировать процессы сгорания и повысить общую эффективность двигателей. В условиях глобальных изменений климата и

истощения природных ресурсов переход на более чистые и устойчивые источники энергии становится не только желательным, но и необходимым. Это требует комплексного подхода, включающего как научные исследования, так и практическое внедрение новых технологий [1-5, 8, 9, 13, 14].

Таким образом, данное исследование направлено на анализ потенциала использования рапсового масла и этанола в дизельных двигателях, оценку их влияния на эксплуатационные характеристики и разработку рекомендаций по их внедрению в практику. Результаты данного исследования могут способствовать более широкому применению биотоплив и, как следствие, улучшению экологической ситуации и устойчивому развитию транспортного сектора.

Объекты и методы

Исследования эффективности работы тракторного дизеля в составе МТА на смесях товарного ДТ и биологических добавок [6,7,10-12] достаточно длительно проводятся специалистами и учеными ВятГУ, БГСХА и Вологодской ГМХА. Целью проводимых работ обозначается оценка эксплуатационных, экологических и топливно-экономических показателей энергетических установок при использовании штатного ДТ и топливных ингредиентов из растительных масел, спиртов и иных субстанций.

На рисунке 1 представлен МТА, включающий колесный трактор Беларус-922, агрегирующий плуг ПЛН-3-35.

Условия полевых испытаний МТА (Беларус-922 + ПЛН-3-35) соответствовали действующему стандарту – ГОСТ 7057-2001. Погодные условия, характеристики фона также соответствовали требованиям ГОСТ 20915-2011. Усилие на крюке трактора регистрировалось тягово-сцепным устройством, соединенным с пахотной машиной посредством динамометрического устройства (рис. 2).

Перед проведением тяговых испытаний для обеспечения возможности полной загрузки по

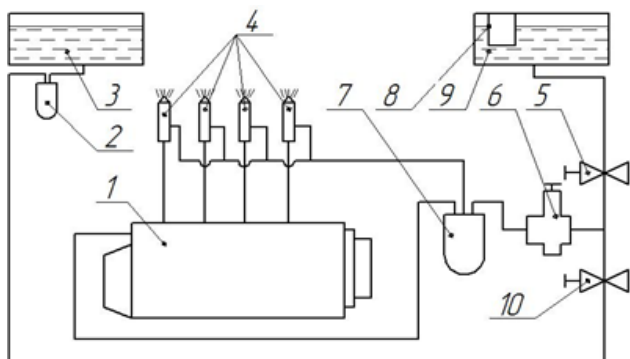


мощности трактор прошел обкатку продолжительностью 30 часов, как того требует завод-изготовитель. Комплектация, исправность и техническая характеристика МТА в полной мере соответствовали требованиям руководства по эксплуатации. Размер, рисунок и характеристики установленных



Рис. 1 – Состав МТА на базе трактора Беларусь – 922 с плугом ПЛН-3-35
Fig. 1 – MTF composition based on the Belarus-922 tractor with the PLN-3-35 plow

Перед работой под нагрузкой был выполнен прогрев двигателя и трансмиссии до рабочей температуры. Электроизмерительная аппаратура, применяемая в исследованиях, также была предварительно прогрета. Для организации работы трактора на исследуемом смесевом топливе система подачи топлива была модернизирована согласно рисунку 3 [7]. Оригинальная конструкция системы позволяла получать заданный состав топлива в установленном по левому борту баке



1 – топливный насос высокого давления; 2 – фильтр грубой очистки топлива; 3 – бак для основного топлива; 4 – форсунки; 5 – отсечной кран для дополнительного топлива; 6 – подкачивающий насос; 7 – фильтр тонкой очистки; 8 – смеситель; 9 – бак для дополнительного топлива; 10 – отсечной кран для основного топлива

Рис. 3 – Схема (а) и общий вид (б) топливной системы для приготовления и подачи многокомпонентного биотоплива:

1 – high-pressure fuel pump; 2 – coarse fuel filter; 3 – tank for the main fuel; 4 – injectors; 5 – shut-off valve for additional fuel; 6 – booster pump; 7 – fine filter; 8 – mixer; 9 – tank for additional fuel; 10 – shut-off valve for the main fuel.

Fig. 3 - Scheme (a) and general view (b) of the fuel system for preparation and supply of multi-component biofuel

Барометрическое давление, параметры окружающей природной среды были приняты по показаниям метеорологической станции Горьковского района и составляли ратм. = 748 мм рт. ст., татм. = 17° С. Их значения и колебания отражались в про-

на тракторе шин отвечали нормативным требованиям. Давление измерялось с помощью стандартного шинного манометра. Плотность дизельного топлива, применяемого при исследованиях, находилась в пределах $830 \pm 10 \text{ кг/м}^3$.



Рис. 2 – Динамометрическая автосцепка, установленная на тягово-сцепном устройстве трактора при испытаниях
Fig. 2 – Torque automatic coupling installed on the tractor drawbar during testing

9. Электромиксер 8 создавал микроэмульсию топлив, позволяя оператору в кабине корректировать режим его работы. Пуск и выход на контрольный режим работы дизеля осуществлялись традиционно. Изменяя положение кранов 10 и 5, отсекалось поступление ДТ и начиналась топливopодача нужной топливной композиции. При этом весь комплекс агрегатов топливной системы работал без коррекции.



б

токолах. Моторные свойства топлива соответствовали ГОСТ. Контуры экспериментального участка (впадины, борозды), наличие стерни, травяного покрова или других особенностей описывались визуально.



Скорость движения МТА (трактор+плуг) не выходила за пределы границ безопасности, определенных агротехническими условиями. Все замеры параметров проводились при условии стабильных режимов работы измерительного комплекса. Подача топлива соответствовала режиму номинальной частоты вращения коленчатого вала. Максимальное усилие на крюке определялось из условия начала нестабильной работы ДВС или буксования МТА.

Экспериментальный участок ограничивался величиной 200×50 м, перепад уклонов не выходил за пределы 1 % × 3 % вдоль и поперек, соответственно. Расход топлива измерялся на участке 100 м в середине гона.

Определена тяговая характеристика трактора на выбранных передачах. Для измерения нагруз-

ки использовали динамометрическую автосцепку, размещенную между плугом ПЛН-3-35 и трактором. Расход топлива за опыт измерялся в линии низкого давления подачи топлива объемным способом расходомером ДРТ-5 с терминалом СКРТ 31.

Исследования для повышения степени достоверности проводились в обоих направлениях выбранного для испытаний участка. Во время измерений при движении трактора скорость трактора была неизменной, остановки не допускались.

Показатели энергетической оценки МТА рассчитывались в соответствии с ГОСТ Р 52777-2007.

Результаты исследований

В результате выполненных исследований построены зависимости эксплуатационных показателей МТА от скорости движения (рисунки 4-6).

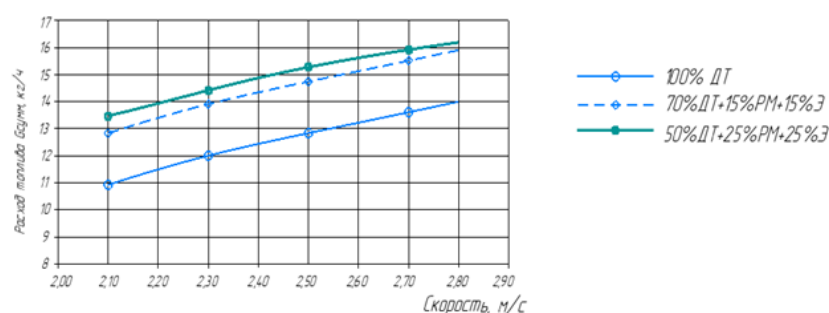


Рис. 4 – Зависимость суммарного расхода топлива от скорости движения МТА
Fig. 4 – Dependence of total fuel consumption on the MTF speed

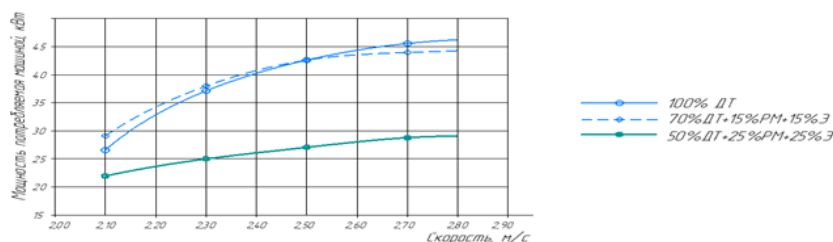


Рис. 5 – Зависимость мощности, потребляемой машиной, от скорости движения МТА
Fig. 5 – Dependence of the power consumed by the machine on the speed of the MTF

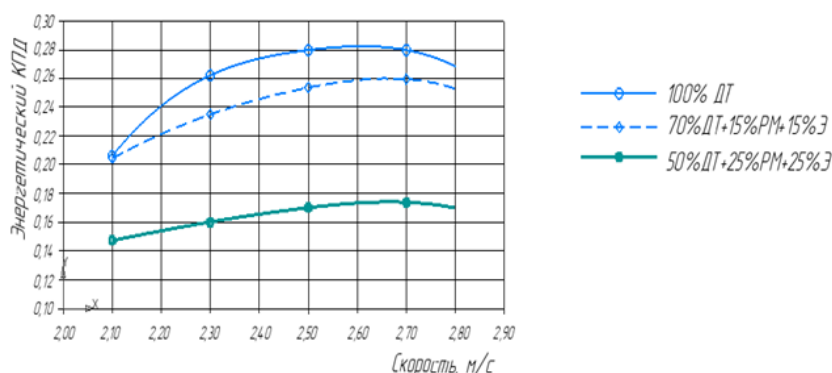


Рис. 6 – Зависимость энергетического КПД от скорости движения МТА
Fig. 6 – Dependence of energy efficiency on the speed of movement of the MTF

Анализируя зависимость суммарного расхода топлива от скорости движения пахотного агрегата, видим, что часовой расход суммарного топлива пропорционален изменению скорости. Также заметен рост часового расхода топлива при повышении процентного содержания добавок.

Это происходит за счет снижения низшей расчетной теплоты сгорания смеси в сравнении с теплотой традиционного ДТ. Дополнительно, масло в сравнении с ДТ обладает завышенными значениями плотности и кинематической вязкости, что

приводит к увеличению их цикловой подачи и часового расхода, дальноточности струи топлива при подаче форсункой [8]. Кроме того растительные масла имеют более низкую самовоспламеняемость, что еще больше увеличивает струю [8], вплоть до достижения ею стенок камеры сгорания. Это приводит к неполному сгоранию топлива и снижению доли объемного смесеобразования. К особенностям рапсового масла также можно отнести высокое содержание в его составе кислорода, примерно 8-12 % от общей массы, и, как след-



ствие, еще некоторое снижение теплоты сгорания. При этом наличие в рапсовом масле кислорода положительно влияет на снижение температуры сгорания в цилиндре двигателя и, соответственно, приводит к снижению выбросов вредных веществ с отработавшими газами [8].

Энергетический КПД МТА увеличивается с повышением скорости движения МТА. Также наблюдается незначительное снижение значения КПД при содержании биодобавок на уровне 15 % и более интенсивный спад при достижении концентрации добавок 25 %.

Выводы

Данные проведенных экспериментов подтвердили возможность использования многокомпонентных составов на основе ДТ с частями биотоплив в энергоустановках тракторов, что может быть продекларировано следующими фактами:

1. Показатели работы универсально-пропашного трактора на проверенных составах не отличаются от соответствующих цифровых значений для традиционных условий в части величины энергетического КПД. Однако, объем добавляемых ингредиентов (спирт + масло) не должен превышать 15 % в объемных долях.

2. Экстремум зависимости КПД МТА от величины биодобавок также соответствует 15 % по объему. При превышении этого значения концентрации имеет место спад энергохарактеристик МТА.

3. Часовой расход суммарного биотоплива напрямую коррелирует с процентным показателем присутствия в нем означенных биодобавок.

Список источников

1. Мухамадьяров Ф.Ф., Лопарев А.А., Судницын В.И. Экологические и энергетические аспекты использования пропашных тракторов. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2004. 126 с.

2. Марков, В. А. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания: монография / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Зыков, С. М. Гайдар // Москва: НИЦ «Инженер». 2016. 292 с.

3. Година, Е. Д. Изменение жирнокислотного состава растительных масел при добавке к ним минерального дизельного топлива и при воздействии ультразвука / Е. Д. Година, Д. С. Шеменев, А. П. Уханов // Нива Поволжья. 2012. № 4(25). С. 38-42.

4. Марков, В.А. Эмульгированные биотоплива для транспортных дизелей / В. А. Марков, В. Г. Ка-

малтдинов, А. Д. Денисов, Л. И. Быковская // Грузовик. 2019. № 12. С. 16–22.

5. Лазарев, Е.А. Физические концепции и математические модели процесса сгорания топлива в дизеле / Вестник ЮУрГУ. 2010. №10. С. 32-39.

6. Плотников С.А., Карташевич А.Н., Смольников М.В. Модернизация системы топливоподачи тракторного дизеля, работающего на этано-топливной эмульсии // ОБЩЕСТВО. НАУКА. ИННОВАЦИИ (НПК-2017): сб. статей : Всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 1–29 апреля 2017 г. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2017. С. 1835-1840.

7. Плотников С.А., Карташевич А.Н., Смольников М.В. Бирюков А.Л. Модернизация системы питания тракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 для работы на этано-топливной эмульсии // Молочно-хозяйственный вестник. 2017. №2(26) II кв. С. 110-118.

8. Марков, В.А., Работа дизелей на нетрадиционных топливах: учеб. Пособие / В.А. Марков [и др.]. – М.: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.

9. Марков, В.А. Спиртовые топлива для дизельных двигателей / В. А. Марков, Н. Н. Патрахальцев // Транспорт на альтернативном топливе, 2009. - №6. - С. 40-46. <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33384611> EDN: KXVHTJ

10. Система регулирования многотопливного дизеля. Пат. 2565383 Рос. Федерация. №2014121775/06, заявл. 28.05.2014; опубл. 20.10.2015, Бюл.№29. 4 с.

11. Система регулирования дизеля. Пат. 2626524 Рос. Федерация. №2016104258, заявл. 09.02.2016; опубл. 28.07.2017, Бюл.№22. 7 с.

12. Плотников С. А. Исследование работы автотракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 на смесях дизельного топлива с рапсовым маслом / Плотников С. А., Черемисинов П.Н., Карташевич А. Н., Бирюков, А.Л. // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – №1(25) – С.110-118.

13. Белов, В.М. Применение в дизелях топлива растительного происхождения/ В.М. Белов, С.Н. Девянин, О.Н. Слепцов// Вести Моск. гос. агроинж. ун-та. – 2003. – Вып. 4. – С. 15–21.

14. Марков, В. А. Особенности использования смесевых биотоплив с добавками метилового эфира подсолнечного масла в автотракторном дизеле / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Нагоров [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2022. - № 4. – С. 28-33.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Muxamad'yarov F.F., Loparev A.A., Sudnicyn V.I. *E`kologicheskie i e`nergeticheskie aspekty` ispol`zovaniya propashny`x traktorov*. Kazan`: Izd-vo Kazansk. un-ta, 2004. 126 s.

2. Markov, V. A. *Biopliiva dlya dvigatelej vnutrennego sgoraniya: monografiya* / V. A. Markov, S. N. Devyanin, S. A. Zy`kov, S. M. Gajdar // Moskva : NICz «Inzhener». 2016. 292 s.

3. Godina, E. D. *Izmenenie zhirkislotnogo sostava rastitel`ny`x masel pri dobavke k nim mine-ral`nogo dizel`nogo topliva i pri vozdeystvii ul`trazvuka* / E. D. Godina, D. S. Shemenev, A. P. Uxa-nov // Niva Povolzh`ya. 2012. № 4(25). S. 38-42.

4. Markov, V.A. *E`mul`girovanny`e biopliiva dlya transportny`x dizelej* / V. A. Markov, V. G. Kamal`tdinov, A. D. Denisov, L. I. By`kovskaya // Gruzovik. 2019. № 12. S. 16–22.



5. Lazarev, E.A. *Fizicheskie koncepcii i matematicheskie modeli processa sgoraniya topliva v dizele* / Vestnik YuUrGU. 2010. №10. S. 32-39.
6. Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Smol'nikov M.V. *Modernizaciya sistemy` toplivopodachi trak-tornogo dizelya, rabotayushhego na e`tanolo-toplivnoj e`mul`sii* // OBSHHESTVO. NAUKA. INNOVACII (NPK-2017): sb. statej : Vseros. ezhegod. nauch.-prakt. konf., 1–29 aprelya 2017 g. Kirov : Nauch. izd-vo VyatGU, 2017. S. 1835-1840.
7. Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Smol'nikov M.V. Biryukov A.L. *Modernizaciya sistemy` pitaniya traktornogo dizelya 4ChN 11,0/12,5 dlya raboty` na e`tanolo-toplivnoj e`mul`sii* // Molochnoozyajstven-ny`j vestnik. 2017. №2(26) II kv. S. 110-118.
8. Markov, V.A., *Rabota dizelej na netradicionny`x toplivax: ucheb. Posobie* / V.A. Markov [i dr.]. – M.: Legion-Avtodata, 2008. – 464 s.
9. Markov, V.A. *Spirtovy`e topliva dlya dizel'ny`x dvigatelej* / V. A. Markov, N. N. Patraxal'cev // Transport na al'ternativnom toplive, 2009. - № 6. - S. 40-46. <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33384611> EDN: KXVHTJ
10. *Sistema regulirovaniya mnogotoplivnogo dizelya*. Pat. 2565383 Ros. Federaciya. №2014121775/06, zayavl. 28.05.2014; opubl. 20.10.2015, Byul.№29. 4 s.
11. *Sistema regulirovaniya dizelya*. Pat. 2626524 Ros. Federaciya. №2016104258, zayavl. 09.02.2016; opubl. 28.07.2017, Byul.№22. 7 s.
12. Plotnikov S. A. *Issledovanie raboty` avtotraktornogo dizelya 4ChN 11,0/12,5 na smesyx dizel'no-go topliva s rapsovy`m maslom* / Plotnikov S. A., Cheremisinov P.N., Kartashevich A. N., Biryukov, A.L. // Molochnoozyajstvenny`j vestnik. – 2017. – №1(25) – S.110-118.
13. Belov, V.M. *Primenenie v dizelyax topliva rastitel'nogo proisxozhdeniya*/ V.M. Belov, S.N. De-vyanin, O.N. Slepcev// Vesti Mosk. gos. agroinz. un-ta. – 2003. – Vy`p. 4. – S. 15–21.
14. Markov, V. A. *Osobennosti ispol'zovaniya smesevy`x biotopliv s dobavkami metilovogo e`fira podsolnechnogo masla v avtotraktornom dizele* / V. A. Markov, S.N. Devyanin, S. A. Nagorov [i dr.] // *Avtomobil'naya promyshlennost`*. – 2022. - № 4. – S. 28-33.

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

Кутергин Николай Юрьевич, аспирант кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», nik03071983@yandex.ru

Бирюков Александр Леонидович, канд. техн. наук, зав. кафедрой энергетических средств и технического сервиса, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В.Вережцагина», biryukov_alex@mail.ru

Карташевич Анатолий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры тракторов, автомобилей и машин для рационального природопользования, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Kartashevich@yandex.ru

Author Information

Plotnikov Sergey A., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Technology of Mechanical Engineering, Vyatka State University, PlotnikovSA@bk.ru

Kutergin Nikolay Yu., Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University, nik03071983@yandex.ru

Biryukov Alexander L., Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Energy Resources and Technical Service, Vologda State Dairy Academy, biryukov_alex@mail.ru

Kartashevich Anatoly N., Doctor of Technical Sciences, 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 23.04.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 06.02.2025; approved after reviewing 23.04.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.511.633.85
DOI: 10.36508/RSATU.2025.90.57.018

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВА ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ
НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Анатолий Иванович Рязанцев¹, Ирина Александровна Костоварова², Георгий Константинович Рембалович³, Евгений Юрьевич Евсеев⁴, Сергей Леонидович Шленов⁵

^{1,3} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

^{2,5} Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г.о. Коломна, Россия

⁴ ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет», г.о. Коломна, Россия

¹ryazantsev.41@mail.ru

²info@raduga.mcx.gov.ru

³rgk.rgatu@yandex.ru

⁴info@raduga.mcx.gov.ru

⁵evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Цель научной работы заключается в определении оптимальных эксплуатационных параметров агроэкологической эффективности полива дождевальными машинами кругового действия отечественного и зарубежного производства. Указывается, что проявление экологических последствий орошения зависит от исходного состояния грунтов, качества поливной воды, режима орошения и уровня агротехнологий. Деградационные явления могут быть существенно уменьшены благодаря регулированию мелиоративного состояния почв, созданию оптимальных условий для роста сельскохозяйственных растений и повышению биологической урожайности орошаемых земель, с сохранением природных ресурсов, включая воду и почву. Исходя из этого, создание научно-обоснованных методов орошения, способствующих увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, сохранению плодородия почвы и снижению экологического воздействия на окружающую среду, является важной задачей.

Методология. В данной работе проводятся исследования по оценке качества дождя на многоопорных ДМ «Кубань-ЛК1» (МДЭК-512-75 и МДЭК 397-55), ДМ «Valley» (длина машины 700 м) и ДМ «Reinke» (длина машины 400 м). Исследования проводились на орошаемых землях АО «Озеры» г. Коломна, Московской области. Почвы плодородные, аллювиальные, зернистые с суглинистым механическим составом и содержанием гумуса 2-3 %. Общий уклон участка 0,016, скорость ветра до 1 м/с, минерализация оросительной воды 2,1 г/л. Исследования по определению интенсивности дождя, а также равномерности распределения осадков проводились по методическим рекомендациям, определенным в СТО АИСТ 11.1.2010.

Результаты. В ходе экспериментальных исследований определялся коэффициент эффективного полива всеми представленными на исследования модификациями дождевальных машин. Выявлено, что все образцы удовлетворяют по основным показателям качества полива.

Заключение. Экспериментальные исследования, проведенные на орошаемых пойменных участках АО «Озеры», показали высокий уровень использования технологий орошения на исследуемом участке при поливе картофеля и лука. Для достижения максимальных значений режима полива сельскохозяйственных культур требуется: разработка технических решений, исключающих недостаточный полив на 18 % дождевальных насадов ДМ «Valeu»; повышение давления в конце ДМ «Кубань-ЛК1», исключающее отклонения равномерности полива по всей длине дождевальной машины.

Ключевые слова: мелиорация, агроэкология, дождевальная машина кругового действия, «Кубань ЛК1», «Valley», «Reinke», распределение дождя, интенсивность дождя

Для цитирования: Рязанцев А.И., Костоварова И.А., Рембалович Г.К., Евсеев Е.Ю., Шленов С.Л. Оценка качества полива широкозахватной дождевальной техники на действующих оросительных системах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.130-139 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.90.57.018>



ASSESSMENT OF THE QUALITY OF IRRIGATION OF WIDE-COVER SPRINKLING EQUIPMENT ON OPERATING IRRIGATION SYSTEMS

Anatoly I. Ryazantsev¹, Irina A. Kostovarov², Georgy K. Rembalovich³, Evgeny Yu. Evseev⁴ ✉, Sergey L. Shlenov⁵

^{1,3} Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

^{2,5} The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems «Raduga», Kolomna, Russia

⁴ State University of Social Sciences and Humanities, Kolomna, Russia

¹ryazantsev.41@mail.ru

²info@raduga.mcx.gov.ru

³rgk.rgatu@yandex.ru

⁴info@raduga.mcx.gov.ru

⁵evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Abstract.

Problem and purpose. The purpose of the scientific work is to determine the optimal operational parameters of agroecological efficiency of irrigation by circular sprinkler machines of domestic and foreign production. It is indicated that the manifestation of the environmental effects of irrigation depends on the initial state of the soil, the quality of irrigation water, irrigation regime and the level of agricultural technology. Degradation phenomena can be significantly reduced by regulating the reclamation state of soils, creating optimal conditions for the growth of agricultural plants and increasing the biological yield of irrigated lands, while preserving natural resources, including water and soil. Based on this, the creation of scientifically based irrigation methods that increase crop yields, preserve soil fertility and reduce environmental impacts is an important task.

Methodology. In this work, studies are conducted to assess the quality of rain on multi-support DM Kuban-LK1 (MDEK-512-75 and MDEK 397-55), DM Valley (700 m machine length) and DM Reinke (400 m machine length). The research was carried out on irrigated lands of JSC Ozery, Kolomna, Moscow region. The soils are fertile, alluvial, granular with a loamy mechanical composition and a humus content of 2-3%. The total slope of the site is 0.016, the wind speed is up to 1 m/s, the salinity of irrigation water is 2.1 g/l. Studies to determine the intensity of rain, as well as the uniformity of precipitation distribution, were conducted according to the methodological recommendations defined in the SRT STORK 11.1.2010.

Results. In the course of experimental studies, the coefficient of effective irrigation was determined by all the modifications of sprinklers presented for research. It was revealed that all samples satisfy the main indicators of irrigation quality.

Conclusion. Experimental studies conducted on irrigated floodplain areas of JSC Ozery have shown a high level of use of irrigation technologies in the study area when watering potatoes and onions. To achieve the maximum values of the irrigation regime for crops, it is required:

– development of technical solutions that eliminate insufficient watering by 18% of the DM "Valey" sprinkler nozzles;

– increased pressure at the end of the DM "Kuban-LK1", which eliminates deviations in the uniformity of irrigation along the entire length of the sprinkler machine.

Key words: land reclamation; agroecology; circular sprinkler; Kuban LK1; Valley; Reinke; rain distribution; rain intensity

For citation: Ryazantsev A.I., Kostovarov I.A., Rembalovich G.K., Evseev E.Yu., Shlenov S.L. Assessment of the quality of irrigation of wide-capture sprinkler equipment on operating irrigation systems // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P.130-139 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.90.57.018>

Введение

Орошение играет важную роль в достижении высоких показателей урожайности сельскохозяйственных культур. Сегодня резкие перепады температур происходят все чаще, и в районах, подверженных засухам, только искусственное орошение позволяет получать высокие урожаи зерновых, технических, овощных, кормовых, бахчевых и плодово-ягодных культур. Несмотря на то, что орошаемое земледелие требует больших инвестиций, затраты быстро окупаются прибылью от высокой урожайности. Однако, если мелиорация

направлена только на увеличение экономической рентабельности, то последствия такого земледелия приводят к водной эрозии, накоплению в почве солей и нитратов, загрязнению водоисточников и др. Степень воздействия экологических факторов орошения зависит от исходного состава почв, уровня оросительной влаги, методов орошения и применяемых агротехнологий. Деграционные явления могут быть существенно уменьшены благодаря регулированию мелиоративного состояния почв, формированию благоприятных условий для роста сельскохозяйственных растений и повыше-



нию биологической урожайности орошаемых территорий с сохранением экологических ресурсов, включая воду и грунт [1, 3, 7].

В настоящее время на полях сельхозпроизводителей нашей страны используются дождеваль-ные машины как российского, так и иностранного

производства, например ДМ «Кубань-ЛК1» (стра-на-производитель: РФ) (рис.1, а, б), ДМ «Valley» (страна-производитель: США) (рис.1, в), ДМ «Reinke» (страна-производитель: США) (рис.1, г) [6, 10].



а



б



в



г

а – «Кубань-ЛК1» МДЭК-512-75; б – «Кубань-ЛК1» МДЭК-397-55; в – ДМ «Valley»; г – ДМ «Reinke»

Рис. 1 – Общий вид электрифицированных дождевальных машин кругового действия в процессе работы

а – “Kuban-LK1” MDEK-512-75; б – “Kuban-LK1” MDEK-397-55; в – DM “Valley”; г – DM “Reinke”

Fig. 1 – General view of electrified circular sprinkler machines in operation

Широкое распространение дождевальных систем в нашей стране позволило накопить много-летний опыт и научно обосновать технологию орошения. Эффективность дождевания зависит от характеристик искусственного дождя, которые определяются конструкцией дождевателей, схе-мой их размещения и интенсивностью полива. Тем не менее, существует ряд факторов, требу-ющих дальнейших научных исследований в обла-сти эксплуатации широкозахватной дождевальной техники:

- загрязнение водных источников и сниже-ние плодородия почв из-за антропогенного воз-действия, что диктует необходимость разработки экологических стандартов для дождевальной тех-ники и технологий;

- устаревшие технологии орошения, а также неактуальная проектная и нормативная докумен-тация, не соответствующая современному уровню развития оросительных систем;

- влияние современных технологий на эф-

фективность орошения [5, 14].

Таким образом, дальнейшие научные меропр-ия и разработка научно-обоснованных способов дождевания, определяющих увеличение урожай-ности сельскохозяйственных культур, сохранение плодородия почвы и уменьшение экологического воздействия на окружающую среду, является важ-ной задачей.

Исследовательская часть

Объектами исследований для анализа эффе-ктивности полива широкозахватной дождевальной техникой были выбраны электрифицированные машины кругового действия: ДМ «Кубань-ЛК1» (модификации: МДЭК-512-75 и МДЭК 397-55), ДМ «Valley» (длина машины 700 м) и ДМ «Reinke» (длина: 400 м), используемые в АО «Озеры» Ко-ломенского района Московской области. Разра-ботанные модификации дождевальных машин обеспечивают стационарное орошение сельско-хозяйственных культур дождеванием с возмож-ностью полива различных видов растений, в том



числе культур с повышенной высотой стеблестоя. Технологический процесс основан на круговом движении машины относительно неподвижной центральной опорной конструкции. Водоснабжение системы осуществляется через гидрант закрытой оросительной сети с организацией подачи воды с помощью стационарного насосного агрегата [2, 11].

На дождевальной машине «Кубань-ЛК1» МДЭК-512-75 по всей длине водопроводящего пояса установлены короткоструйные секторные дождевальные насадки. В модификацию дождевальной машины «Кубань-ЛК1» МДЭК 397-55 конструкционные изменения не вносились.

Почвы участка, где проводились исследования, плодородные, аллювиальные, зернистые с суглинистым механическим составом и содержанием гумуса 2-3 %. Общий уклон участка 0,016, скорость ветра до 1 м/с, минерализация оросительной воды 2,1 г/л. Исследования по определению интенсивности дождя, а также равномерности

распределения осадков проводились по методическим рекомендациям, определенным в СТО АИСТ 11.1.2010 [13]. В ходе проведения эксперимента использовались дождемеры, таймер, а также измерительный цилиндр. Анализ полученных данных и построение графических зависимостей производились посредством Microsoft 365 Excel. Согласно методике, дождемеры устанавливались по длине ДМ через каждые 5 метров [4, 9].

Исследованиями ЭДМ «Кубань-ЛК1» (МДЭК 512-75), работающей в движении по кругу, установлено, что представленный образец удовлетворяет по основным показателям качества полива.

По показаниям дождемеров произведен расчет коэффициента эффективного полива по стандартной методике. В среднем коэффициент недостаточного полива составляет 0,10, коэффициент переполива – 0,15, а коэффициент эффективного полива – 0,75. Результаты исследований представлены в таблице 1, а график распределения слоя осадков – на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты исследований ДМ «Кубань-ЛК1» МДЭК 512-75

Показатель	Значение показателя
Место проведения оценки	АО «Озеры» г.о. Коломна Московской области
Исследуемая модификация ДМ	«Кубань-ЛК1» МДЭК 512-75
Режим работы:	
- скорость движения. м/мин	0,0085
- давление, МПа:	
- в начале машины	0,28
- в конце машины	0,23
Норма полива, м³/га	400
Количество дождеобразующих устройств, шт.	193
Скорость ветра, м/с	0...1,0
Расход воды, л/с:	
- дождеобразующим устройством	от 0,05 до 0,66
- общий	63,2
- по дождемерам	57,7
Время одного оборота машины, ч	105,9
Радиус полива по крайним каплям, м	516
Площадь орошения с одной позиции без перекрытия, м²	83,6
Средний слой осадков за проход, мм	22,2
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,37
Средний диаметр капель, мм	0,93
Коэффициенты полива:	
- эффективного	0,75
- недостаточного	0,10
- избыточного	0,15
Неполитая площадь, %	0
Норма полива до стока, м³/га	от 194 до 325

Исследованиями электрифицированной дождевальной машины кругового действия «Кубань-ЛК1» (МДЭК 397-55) установлено, что основные показатели качества полива исследуемой модификации соответствуют агротребованиям.

Проведенные экспериментальные исследо-

вания ДМ «Кубань-ЛК1» с дождевальными аппаратами позволили наряду с уменьшением интенсивности полива с 0,4 до 0,2 мм/мин уменьшить также глубину колеи и, за счет этого, увеличить коэффициент эффективного полива. По результатам сбора воды в дождемеры средние значения



недополива составляют 0,13 переполива – 0,16, а коэффициент эффективного полива – 0,71 (табл. 2) [8, 12]. График распределения слоя осадков ДМ

«Кубань-ЛК1» (МДЭК 397-55) представлен на рисунке 3.

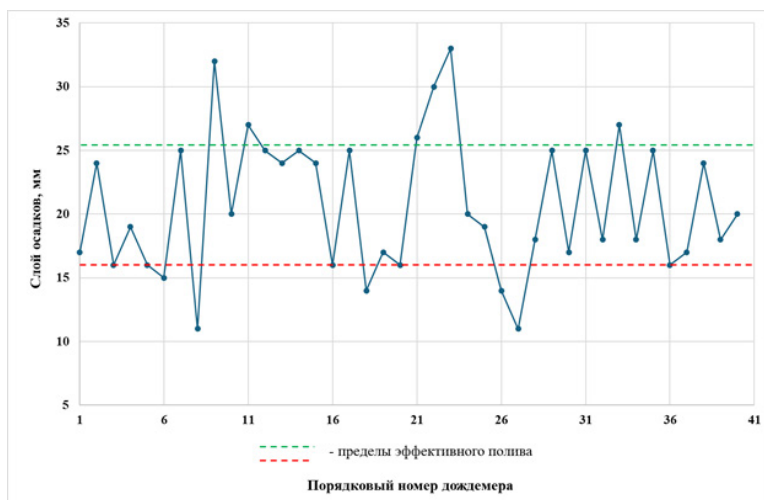


Рис. 2 – График распределения слоя осадков ДМ «Кубань-ЛК1» МДЭК 512-75

Fig.2 – Graph of the precipitation layer distribution of DM "Kuban-LK1" MDEK 512-75

Таблица 2 – Результаты исследований ДМ «Кубань-ЛК1» МДЭК 397-55

Показатель	Значение показателя
Дата и место проведения оценки	АО «Озеры» г.о. Коломна Московской области
Исследуемый образец	«Кубань-ЛК1» МДЭК 397-55
Режим работы:	
- скорость движения, м/мин	0,012
- давление, МПа:	
- в начале машины	0,31
- в конце машины	0,22
Норма полива, м ³ /га	300
Количество дождеобразующих устройств, шт.	137
Скорость ветра, м/с	0...1,0
Показатели качества выполнения технологического процесса	
Расход воды, л/с:	
- дождеобразующим устройством	от 0,13 до 0,74
- общий	61,2
- по дождемерам	57,7
Время одного оборота машины, ч	53,9
Радиус полива по крайним каплям, м	400
Площадь орошения с одной позиции без перекрытия, м ²	82,2
Средний слой осадков за проход, мм	21,6
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,358
Средний диаметр капель, мм	0,91
Коэффициенты полива:	
- эффективного	0,70
- недостаточного	0,13
- избыточного	0,17
Неполитая площадь, %	0
Норма полива до стока, м ³ /га	от 230 до 350

Проведенный анализ экспериментальных данных выявил существенные различия в характеристиках полива при работе дождевальной машины. Установлено, что минимальная статистически значимая разница показателей дождемеров со-

ставляет 5,53 мм при погрешности измерений 7,24 % (табл. 3). Среднее значение поливной нормы достигло 25,72 мм с глубиной увлажнения почвенного слоя до 42 см.

Наблюдается значительная вариабельность



поливных норм между различными секциями машины. Максимальные значения зафиксированы в зоне действия секций №3-№5 (26,62-33,98 мм), тогда как в области секций №7-№9 отмечается постепенное снижение интенсивности орошения. Минимальная поливная норма (20,36 мм) зарегистрирована под секцией №11.

Хронометраж работы показал, что время прохода машины составляет приблизительно 35 минут. При этом уровень воды в измерительных устройствах варьировался от 59,6 до 99,12 см². Анализ интенсивности орошения выявил ее сни-

жение с 0,21-0,34 мм/мин в зоне секции №7 до 0,15-0,27 мм/мин в районе секций №7-№11 [15, 16].

Детальный анализ работы дождевальных насадок показал, что 30 % из них не соответствуют агротехническим нормативам, при этом 12 % создают избыточное увлажнение, а 18 % – недостаточное [17].

Результаты экспериментальных исследований по распределению дождя под ДМ «Valley» представлены в таблице 3, а график распределения слоя осадков – на рисунке 4.

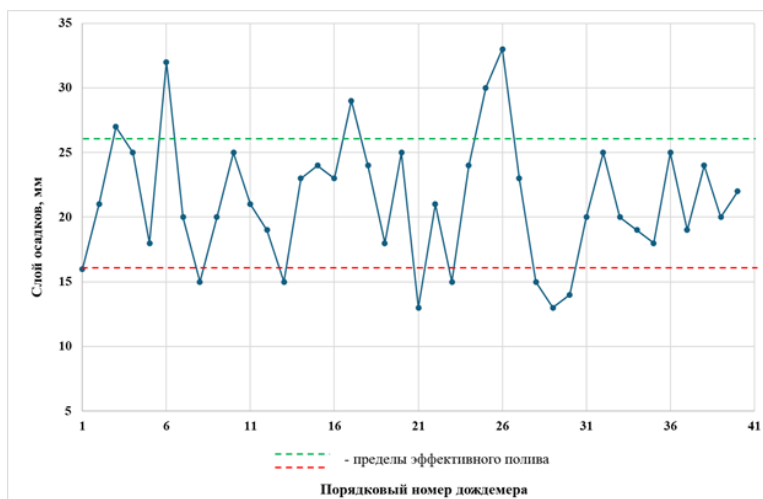


Рис. 3 – График распределения слоя осадков ДМ «Кубань-ЛК1» МДЭК 397-55

Таблица 3 – Распределение дождя ДМ «Valley»

Секции машины	Номера дождемеров и показания в мм					Средние значения
	1	2	3	4	5	
с.3	42,9	23,9	28,1	35,6	39,4	33,98
с.5	31,5	23,9	24,7	24,6	27,4	26,42
с.7	20,9	17,7	18,1	32,9	24,1	22,74
с.9	27,9	21,6	22,0	27,1	28,5	25,42
с.11	20,2	21,6	16,7	26,0	17,3	20,36
Среднее под машиной						25,78

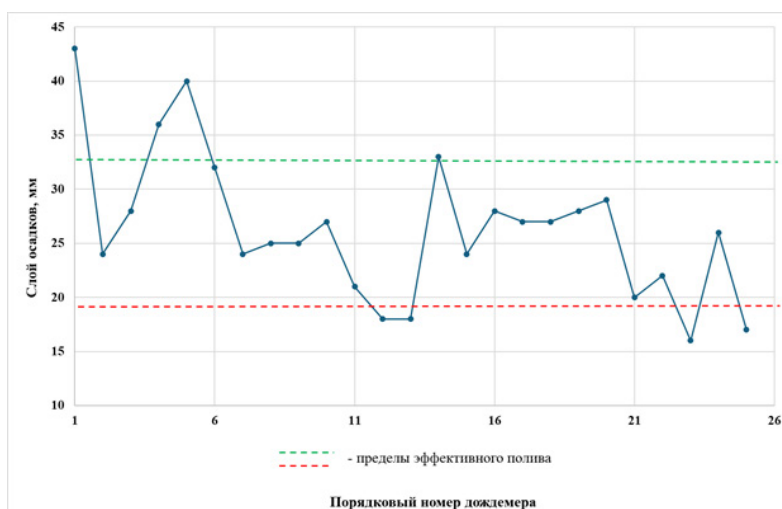


Рис. 4 – График распределения слоя осадков ДМ «Valley»

Fig.4 – The graph of the distribution of the precipitation layer of DM "Valley"

Дождевальная электрифицированная широкозахватная дождевальная машина кругового действия «Reinke» применялась при орошении лука в

однолетнем цикле и семенников лука.

При исследовании представленной модификации ДМ было выявлено, что около 80 % дожде-



важных насаждений функционируют в соответствии с агропотребностями, при этом около 20 % работают с отклонениями, с объемом недополива 6,7 %. Интенсивность дождя соответствует агропотребностям и составляет от 0,14 мм/мин до 0,27 мм/мин.

Исследованиями дождевальной электрифицированной установки кругового действия «Reinke» установлено, что данный образец соответствует

основным критериям качества полива.

По показаниям дождемеров произведен расчет коэффициента эффективного полива по стандартной методике. В среднем коэффициент недополива составляет 0,12, переполива – 0,08 и коэффициент эффективного полива – 0,80. Результаты исследований ДМ «Reinke» приведены в таблице 4, а график распределения слоя осадков на рисунке 5.

Таблица 4 – Распределение дождя ДМ «Reinke»

Показатель	Значение показателя
Дата и место проведения оценки	АО «Озеры» г.о. Коломна Московской области
Исследуемый образец	«Reinke»
Режим работы:	
- скорость движения, м/мин	0,0085
- давление, МПа:	
- в начале машины	0,28
- в конце машины	0,23
Норма полива, м ³ /га	400
Количество дождеобразующих устройств, шт.	107
Скорость ветра, м/с	0...0,8
Показатели качества выполнения технологического процесса	
Расход воды, л/с:	
- дождеобразующим устройством	от 0,05 до 0,66
- общий	63,2
- по дождемерам	57,7
Радиус полива по крайним каплям, и	416
Средний слой осадков за проход, мм	22,2
Средняя интенсивность дождя, мм/мин	0,27
Средний диаметр капель, мм	0,93
Коэффициенты полива:	
- эффективного	0,80
- недостаточного	0,12
- избыточного	0,08
Неполивная площадь, %	0

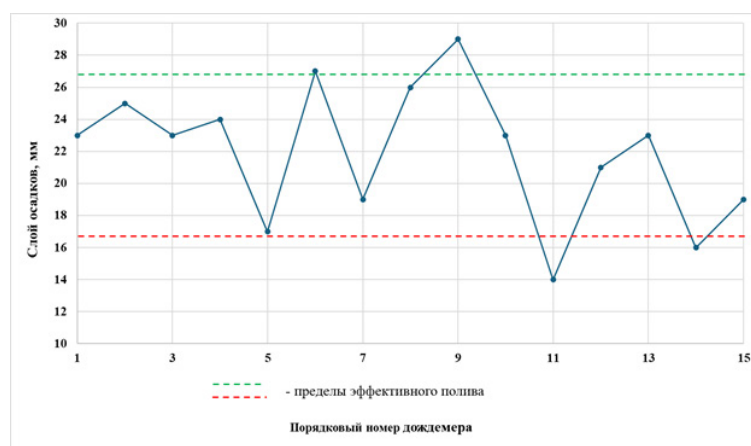


Рис. 5 – График распределения слоя осадков ДМ «Reinke»
Fig.5 – The graph of the precipitation layer distribution of DM "Reinke"

Закключение

Экспериментальные исследования, проведенные на орошаемых пойменных участках АО «Озеры», показали высокий уровень использования

технологий орошения на исследуемом участке при поливе картофеля и лука. Для достижения максимальных значений режима полива сельскохозяйственных культур требуется:



– разработка технических решений, исключающих недостаточный полив на 18 % дождевальных насадов ДМ «Valeu»;

– повышение давления в конце ДМ «Кубань-ЛК1», исключающего отклонения равномерности полива по всей длине дождевальной машины.

Список источников

1. Евсеев, Е. Ю. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

2. Евсеев, Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях / Е. Ю. Евсеев // Нива Поволжья. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.

3. Журавлева, Л. А. Совершенствование технологических приемов полива дождевальными машинами кругового действия "Каскад" / Л. А. Журавлева, В. А. Соловьев // Мелиорация. – 2019. – № 1(87). – С. 78-82. – EDN EWYNEM.

4. Зверьков, М. С. К вопросу о допустимых эрозионных характеристиках искусственного дождя на почвах слабой водопроницаемости / М. С. Зверьков // Технические и естественные науки : Сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26 июня 2022 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦПРАЗВИТИЕ», 2022. – С. 4-6. – DOI 10.37539/TNS303.2022.58.40.003. – EDN TSUUMQ.

5. Костоварова, И. А. Повышение эффективности орошения при многофункциональном использовании техники полива / И. А. Костоварова, С. Л. Шленов, М. П. Замаховский // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 58-61. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10315. – EDN ZAURGH.

6. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия / А. И. Рязанцев, С. С. Турпин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

7. Ольгаренко, Г. В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники для полива в Российской Федерации / Г. В. Ольгаренко // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 7. – С. 24-27. – EDN ZBMMUT.

8. Результаты экспериментальных исследований работы электрифицированных дождевальных

машин кругового действия на склоновых землях / Л. А. Журавлева, В. А. Соловьев, А. Н. Кузнецов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 78-81. – DOI 10.28983/asj.y2019i4pp78-81. – EDN CVBRIE.

9. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

10. Рязанцев А.И. Повышение опорных свойств многоопорной машины «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. // Наука в центральной России. 2022. №6 (60). С.35-41.

11. Рязанцев, А. И. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий / А. И. Рязанцев, А. О. Гаврилица. – Кишинев : Штиинца, 1991. – 206 с. – ISBN 5-376-01018-X. – EDN WJRCUO.

12. Совершенствование конструкции дождевальной машины кругового действия / В. Г. Абезин, С. Я. Семененко, Д. В. Скрипкин, А. Г. Беспалов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 2(38). – С. 208-212. – EDN TZBUKJ.

13. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

14. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев, Г. К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

15. Технические условия ТУ 4734-350-00008064-2005 / Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1» // ФГНУ ВНИИ «Радуга» - Коломна, 2005.

16. Challenging agroecology through the characterization of farming practices' diversity in Mediterranean irrigated areas / Akakpo K. [et al.] // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 128, 126284.DOI: 10.1016/j.eja.2021. 126284.

17. Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering / Tarolli P. [et. al.] // iScience. 2024. Vol. 27, Issue 2. 108830. DOI: 10.1016/j.isci.2024.108830.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Yevseyev, Ye. Yu. *Povysheniye proizvoditel'nosti mnogofunktsional'noy mashiny krugovogo deystviya na sklonakh* / Ye. YU. Yevseyev, A. I. Ryazantsev // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo*



agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

2. Yevseyev, Ye. YU. Povysheniye effektivnosti primeneniya mnogofunktsional'noy mashiny na sklonovykh ploshchadyakh / Ye. YU. Yevseyev // Niva Povolzh'ya. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.

3. Zhuravleva, L. A. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh priyemov poliva dozhdeval'nymi mashinami krugovogo deystviya "Kaskad" / L. A. Zhuravleva, V. A. Solov'yev // Melioratsiya. – 2019. – № 1(87). – С. 78-82. – EDN EWYNEM.

4. Zver'kov, M. S. K voprosu o dopustimyykh erozionnykh kharakteristikakh iskusstvennogo dozhdy na pochvakh slaboy vodopronitsayemosti / M. S. Zver'kov // Tekhnicheskiye i yestestvennyye nauki : Sbornik izbrannykh statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 26 iyunya 2022 goda. – Sankt-Peterburg: Chastnoye nauchno-obrazovatel'noye uchrezhdeniye dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya Gumanitarnyy natsional'nyy issledovatel'skiy institut «NATRAZVITIYe», 2022. – С. 4-6. – DOI 10.37539/TNS303.2022.58.40.003. – EDN TSUUMQ.

5. Kostovarov, I. A. Povysheniye effektivnosti orosheniya pri mnogofunktsional'nom ispol'zovanii tekhniki poliva / I. A. Kostovarov, S. L. Shlenov, M. P. Zamakhovskiy // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 58-61. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10315. – EDN ZAURGH.

6. Obosnovaniye regulirovaniya raskhoda dozhdeval'nykh apparatov shirokoyakhvatnykh mashin krugovogo deystviya / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, Ye. YU. Yevseyev, A. O. Antipov // Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

7. Ol'garenko, G. V. Realizatsiya programmy importozameshcheniya v oblasti proizvodstva tekhniki dlya poliva v Rossiyskoy Federatsii / G. V. Ol'garenko // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2017. – № 7. – С. 24-27. – EDN ZBMMUT.

8. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy raboty elektrifitsirovannykh dozhdeval'nykh mashin krugovogo deystviya na sklonovykh zemlyakh / L. A. Zhuravleva, V. A. Solov'yev, A. N. Kuznetsov [i dr.] // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. – 2019. – № 4. – С. 78-81. – DOI 10.28983/asj.y2019i4pp78-81. – EDN CVBRIE.

9. Resursosberegayushchiye energoэффективныe ekologicheski bezopasnyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva orosheniya: sprav. – М.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2015. – 264 s.

10. Ryazantsev A.I. Povysheniye opornykh svoystv mnogoopornoy mashiny «Kuban'-LK1» / Ryazantsev A.I., Zazulya A.N., Yevseyev Ye. YU., Antipov O.V., Antipov A.O. // Nauka v tsentral'noy Rossii. 2022. №6 (60). S.35-41.

11. Ryazantsev, A. I. Optimizatsiya shirokoyakhvatnykh dozhdeval'nykh mashin krugovogo deystviya dlya slozhnykh pochvenno-rel'yefnykh usloviy / A. I. Ryazantsev, A. O. Gavrilitsa. – Kishinev : Shtiintsa, 1991. – 206 s. – ISBN 5-376-01018-X. – EDN WJRCUO.

12. Sovershenstvovaniye konstruksii dozhdeval'noy mashiny krugovogo deystviya / V. G. Abezin, S. YA. Semenenko, D. V. Skripkin, A. G. Bepalov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2015. – № 2(38). – С. 208-212. – EDN TZBUKJ.

13. STOAIST 11.1 – 2010. Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Mashiny i ustanovki dozhdeval'nyye. Metody otsenki funktsional'nykh pokazateley / FGBNU «Rosinformagrotekh». – М., 2012. – 54 s.

14. Tekhnicheskiye resheniya po povysheniyu proizvoditel'nosti mnogofunktsional'noy mashiny krugovogo deystviya na sklonovykh uchastkakh / Ye. YU. Yevseyev, A. I. Ryazantsev, G. K. Rembalovich [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 119-124. – DOI 10.36508/RSATU.2023.72.87.016. – EDN ZMYSJF.

15. Tekhnicheskiye usloviya TU 4734-350-00008064-2005 / Mashina dozhdeval'naya elektrifitsirovannaya krugovaya «Kuban'-LK1» // FGNU VNII «Raduga» - Kolomna, 2005.

16. Challenging agroecology through the characterization of farming practices' diversity in Mediterranean irrigated areas / Akakpo K. [et al.] // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 128, 126284. DOI: 10.1016/j.eja.2021. 126284.

17. Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering / Tarolli P. [et. al.] // iScience. 2024. Vol. 27, Issue 2. 108830. DOI: 10.1016/j.isci.2024.108830.

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Рязанцев Анатолий Иванович, д-р тех. наук, профессор, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ryazantsev.41@mail.ru

Костоварова Ирина Александровна, канд. с.-х. наук, зав. отделом систем орошения дождеванием, Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», info@raduga.mscx.gov.ru

Рембалович Георгий Константинович, д-р тех. наук, профессор, проректор по научной рабо-



те, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», rgk.rgatu@yandex.ru

Евсеев Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, ст. препод. кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов, ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет», evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Шленов Сергей Леонидович, ст. научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», info@raduga.mcx.gov.ru

Author Information

Ryazantsev Anatoly I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ryazantsev.41@mail.ru

Kostovarova Irina A., Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Scientific Research Department, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", info@raduga.mcx.gov.ru

Rembalovich Georgy K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Scientific Work, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, rgk.rgatu@yandex.ru

Yevseyev Evgeny Yu., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes, State University of Social Sciences and Humanities, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Shlenov Sergey L., Senior Researcher at the Department of Irrigation Systems by Sprinkling, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply Raduga, info@raduga.mcx.gov.ru

Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 06.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.55
DOI: 10.36508/RSATU.2025.81.25.019

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРИРУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Алексей Викторович Сибирёв¹, Максим Александрович Мосяков²✉, Максим Александрович Михеев³

^{1, 2, 3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

¹ sibirev2011@yandex.ru

² Maks.Mosyakov@yandex.ru

³ mak5im.mih@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В статье подчеркивается важность развития селекции семеноводства свеклы, что обеспечивает высокую урожайность и позволяет снизить затраты на её производство. Описываются технические и агрономические сложности, которые могут влиять на качество корнеплодов, производительность техники и общую эффективность работы. Представлены результаты поискового анализа существующих видов сепарирующих систем. Анализ конструкций существующих устройств выявил ряд общих недостатков, не позволяющих обеспечить более эффективную очистку на всех этапах процесса сепарации. Целью настоящего исследования явилась разработка автоматической системы изменения угла наклона сепарирующего рабочего органа свеклоуборочного комбайна для увеличения общей эффективности очистки

Методология. Основой методологии исследования является анализ научных работ и технических решений. На основе литературного поиска определили наиболее востребованную в современных уборочных машинах комбинированную сепарирующую систему. Кроме того, было установлено, что эффективность работы звездчатой сепарирующей системы можно повысить, используя устройство, автоматически регулирующее угол наклона первой сепарирующей звезды

Результаты. На основе результатов поисковых исследований и аналитического обобщения результатов исследований ученых в агроинженерном центре ВИМ предложена новая конструкция комбинированной сепарирующей системы.

Заключение. Использование разрабатываемой системы может улучшить качество сепарации до 15 % за счет адаптации угла наклона и скорости вращения, повысить производительность до 30 % за счет оптимизации скорости и увеличить общую эффективность до 20 % за счет автоматизации и адаптации.

Ключевые слова: сахарная свекла, уборка, сепарация, модернизация, сепарирующий орган

Для цитирования Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Михеев М.А. Разработка автоматической системы изменения угла наклона сепарирующего рабочего органа свеклоуборочного комбайна // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.2, С. 140-144 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.81.25.019>

Original article

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR CHANGING THE ANGLE OF INCLINATION OF THE SEPARATING WORKING BODY OF A BEET HARVESTER

Alexey V. Sibirev ¹, Maxim A. Mosyakov ²✉, Maxim A. Miheev ³

^{1, 2, 3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

¹ sibirev2011@yandex.ru

² Maks.Mosyakov@yandex.ru

³ mak5im.mih@yandex.ru

**Abstract.**

Problem and purpose. The article highlights the importance of developing beet seed breeding, which ensures high yields and reduces production costs. The technical and agronomic difficulties that can affect the quality of root crops, the productivity of machinery and the overall efficiency of work are described. The results of a search analysis of existing types of separation systems are presented. An analysis of the designs of existing devices revealed a number of common disadvantages that do not allow for more efficient cleaning at all stages of the separation process. The purpose of this study was to develop an automatic system for changing the angle of inclination of the separating working body of a beet harvester to increase the overall cleaning efficiency.

Methodology. The basis of the research methodology is the analysis of scientific papers and technical solutions. Based on a patent search, a combined separation system was identified as the most in demand in modern harvesting machines. In addition, it was found that the efficiency of the stellar separation system can be improved by using a device that automatically adjusts the angle of inclination of the first separating star.

Results. Based on the results of exploratory research and analytical generalization of the research results of scientists, a new design of a combined separation system has been proposed at the agroengineering center of VIM.

Conclusion. The use of the developed system can improve the separation quality by up to 15% by adapting the angle of inclination and rotation speed, increase productivity by up to 30% by optimizing speed, and increase overall efficiency by up to 20% through automation and adaptation.

Key words: sugar beet, harvesting, separation, modernization, separating body

For citation Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Miheev M.A. Development of an automatic system for changing the angle of inclination of the separating working body of a beet harvester // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025. Vol.17, No.2, P.140-144 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.81.25.019>

Введение

Сахарная свекла является единственным источником сырья для получения сахара в промышленных масштабах в РФ. Данная культура адаптирована к выращиванию в условиях умеренного климата, где сахарный тростник не может произрастать из-за климатических ограничений. Россия относится к странам-лидерам в производстве сахара без зависимости от импортного сырья. В настоящее время в стране около 66 действующих сахарных заводов, осуществляющих переработку сахарной свеклы [1].

Выращивание культуры интегрировано в севообороты, что позволяет улучшать почвенную структуру и снижать распространение в ней вредителей.

Сахарная свёкла экономически очень выгодная культура для сельхозтоваропроизводителей, обладающая высоким потенциалом продуктивности. По рентабельности производства в последние годы культура существенно превосходит многие другие, более традиционные культуры для зон их возделывания в России.

Развитие селекции семеноводства свеклы обеспечило высокую урожайность и позволило снизить затраты на её производство. По данным ИКАР, в 2023 году в среднем по России сбор сахарной свёклы с гектара составил 491,2 ц. По данным за 2024 год урожайность составила 383 ц с га. На её ухудшение повлияли погодные условия, дефицит на рынке эффективных зарубежных гибридов семян и проблемы со свеклоуборочной техникой. [2]

Материалы и методы

Повышению эффективности уборки и переработки сахарной свеклы может способствовать модернизация устройств и сепарирующих рабочих органов, обеспечивающих отделение корнеплодов от почвы, листьев и других примесей, качество ра-

боты которых отвечало бы агротехническим требованиям.

В процессе уборки сахарной свеклы сталкиваются с рядом технических и агрономических сложностей, которые могут влиять на качество корнеплодов, производительность техники и общую эффективность работы.

Выполненные поисковые исследования конструкций сепарирующих рабочих органов современных уборочных машин и аналитическое обобщение результатов исследований ученых [3-8], позволили составить классификацию по типу, принципу и конструктивным особенностям их работы.

Одной из главных задач сепарирующих органов является отделение сахарной свеклы от прилипшей почвы, ботвы и других примесей. Однако в условиях высокой влажности или глинистых грунтов процесс сепарации затрудняется: почва налипает на корнеплоды, что увеличивает их массу и усложняет их дальнейшую обработку. Современные сепарирующие механизмы не всегда справляются с такими условиями работы, что приводит к необходимости дополнительной очистки. В таблице сведены результаты поискового анализа существующих видов сепарирующих систем (табл. 1).

На рисунке 1 представлен внешний вид рассматриваемых сепарирующих систем свеклоуборочных комбайнов.

В результате анализа конструкций определили наиболее востребованную в современных уборочных машинах комбинированную сепарирующую систему. Она объединяет различные типы систем, что обеспечивает более эффективную очистку на всех этапах процесса сепарации. Кроме того, было установлено, что эффективность работы звездчатой сепарирующей системы можно повысить, используя устройство, автоматически регулирующее угол наклона первой сепарирующей звезды (рис. 2).

Таблица 1 – Виды сепарирующих систем

Название	Принцип работы	Тип конструкции	Примеры применения
Роликовые	Механический	Роликовый	Отделение свеклы от камней и почвы
Ленточные	Механический	Ленточный	Удаление ботвы, транспортировка
Звездчатые	Механический	Роликовый/ Специальные	Очистка от влажной почвы
Комбинированные	Комбинированный	Смешанный	Комплексная очистка

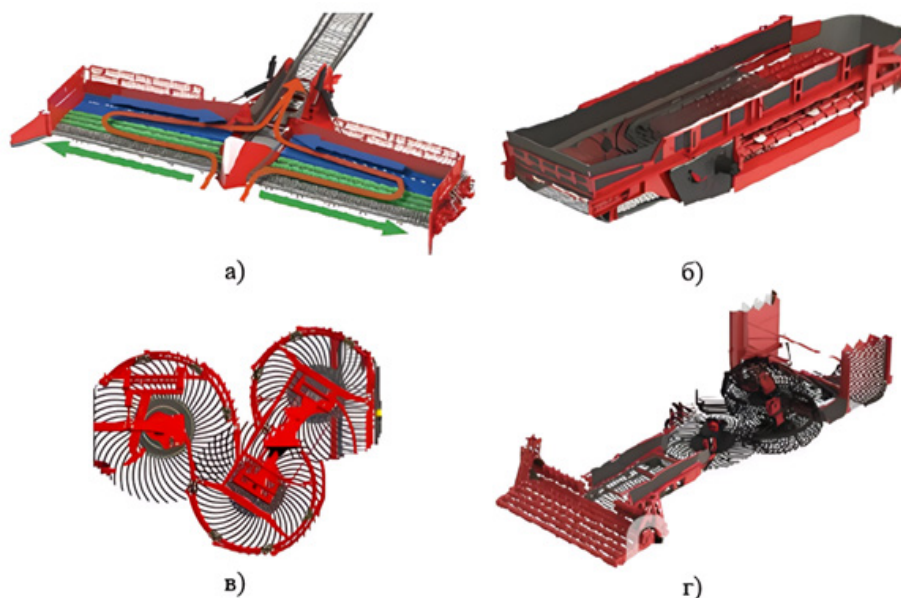


Рис. 1 – Виды сепарирующих систем свеклоуборочных комбайнов:

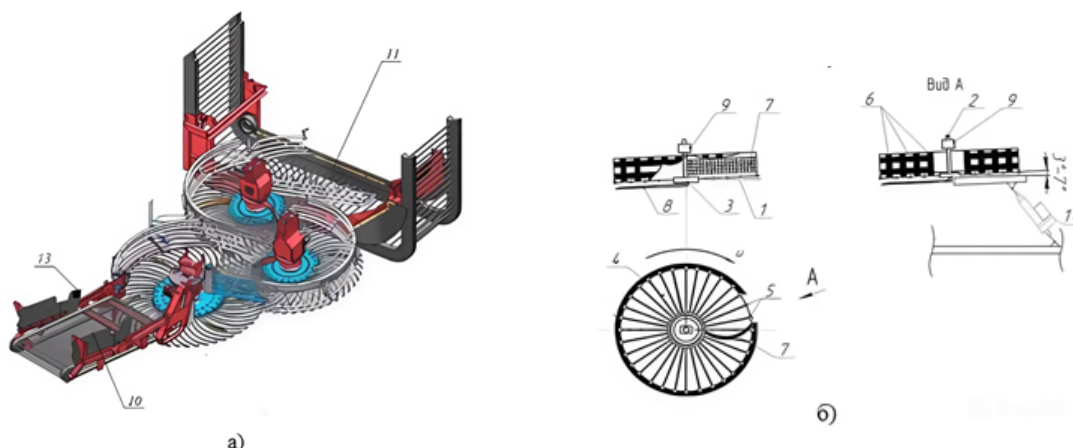
а) роликовые; б) ленточные; в) звездчатые; г) комбинированные

Fig. 1 – Types of separating systems for sugar beet harvesters:

a) roller; b) belt; c) star; d) combined

В результате анализа конструкций определили наиболее востребованную в современных уборочных машинах комбинированную сепарирующую систему. Она объединяет различные типы систем, что обеспечивает более эффективную очистку на всех этапах процесса сепарации. Кро-

ме того, было установлено, что эффективность работы звездчатой сепарирующей системы можно повысить, используя устройство, автоматически регулирующее угол наклона первой сепарирующей звезды (рис. 2).



1 – диск; 2 – вал; 3 – ступица; 4 – счесывающие спицы; 5 – шарниры, 6 – резинотехническое ограждение; 7 – решетчатый щиток; 8 – чистик; 9 – гидронасос; 10 и 11 – транспортеры, подающие и отводящие корнеплоды; 13 – электронный датчик управления; 14 – актуатор с кронштейном

Рис. 2 – Комбинированная сепарирующая система с регулировкой угла наклона первой сепарирующей звезды: а) комбинированная система; б) регулировка угла наклона сепарирующей звезды

1 – disk; 2 – shaft; 3 – hub; 4 – combing spokes; 5 – hinges, 6 – rubber guard; 7 – lattice shield; 8 – scraper; 9 – hydraulic pump; 10 and 11 – conveyors feeding and discharging root crops; 13 – electronic control sensor; 14 – actuator with bracket

Fig. 2 – Combined separating system with adjustable angle of inclination of the first separating star: а) combined system; б) adjustable angle of inclination of the separating star



Результаты и обсуждения

Цель работы – разработка автоматической системы изменения угла наклона сепарирующего рабочего органа свеклоуборочного комбайна с улучшением качества процесса сепарации.

На основе результатов поисковых исследований и аналитического обобщения результатов исследований ученых в агроинженерном центре ВИМ предложена новая конструкция комбинированной сепарирующей системы (рис. 2). Представлено описание конструкции системы и принцип её функционирования. Дисковый сепарирующий орган содержит диск 1, закрепленный на вертикальном валу 2, имеющем ступицу 3 и счесывающие спицы 4, соединенные со ступицей 3 посредством шарниров 5. Сепарирующий диск 1 установлен под углом скатывания почвенных примесей к вертикальной и горизонтальной плоскостям. Счесывающие спицы 4 свободно вращаются посредством шарниров 5 относительно ступицы 3 и кромки сепарирующего диска 1. Концы счесывающих спиц 4 диска 1 ограничены кольцевым решетчатым резинотехническим ограждением 6. На сепарирующем диске 1 установлен решетчатый щиток 7, который суживает поток вороха и укладывает его в валок, причем размер ячеек решетчатого щитка 7 меньше минимального размера корнеплодов.

Для предотвращения забивания счесывающих спиц 4 растительными примесями предусмотрен чистик 8. Привод сепарирующего органа осуществляется посредством гидронасоса 9.

Дисковый сепарирующий орган снабжен подающим 10 и отводящим 11 корнеплоды транспортерами. Также в систему входят: датчик массы 12, электронный датчик управления 13 и актуатор с кронштейном 14.

Разрабатываемое устройство работает следующим образом.

Во время подачи вороха неочищенных корнеплодов по транспортеру датчик массы 12, не указанный на чертеже, анализирует объем поступающей продукции и передает сигнал в электронный блок управления 13 (ЭБУ); ЭБУ 13 в свою очередь анализирует этот сигнал и определяет угол наклона и скорость транспортировки сепарирующей системы, необходимые в данных условиях, и передает информацию на актуатор 14, который и изменяет эти характеристики с помощью кронштейна.

В процессе работы системы ворох неочищенных корнеплодов подается транспортером 10 внутрь сепарирующего диска 1 на счесывающие спицы 4. Под действием центробежных сил ворох корнеплодов рассредоточивается по поверхности сепарирующего диска 1, при этом почвенные примеси скатываются к кромке диска 1, который установлен под углом скатывания почвенных примесей к вертикальной плоскости, и в результате поворота счесывающих спиц 4 относительно шарниров 5 почвенные примеси отделяются от корнеплодов и проваливаются вниз на поверхность почвы. Растительные примеси остаются на ворсе счесывающих спиц 4 и в результате поворота на шарнирах 5 удаляются чистиком 8. При этом

корнеплоды транспортируются к зоне отводящего транспортера 11 посредством решетчатого щитка 7. Почвенные примеси, размер которых меньше ячеек решетчатого щитка 7, проходят через ячейки, подвергаясь дополнительной сепарации.

Дисковый сепарирующий орган на уборке корнеплодов конической формы работает следующим образом.

Ворох очищаемых корнеплодов подается транспортером 10 сверху на счесывающие спицы 4 диска 1. Вращаясь, спицы 4 создают для корнеплодов центробежные силы, отбрасывающие их к решетчатому резинотехническому ограждению 6. Имея собственный привод, ограждение 6 также вращается в том же направлении, что и диск 1, но с другой угловой скоростью, в результате чего корнеплоды как бы располагаются вдоль образующей диска 1. Корнеплоды взаимодействуют с одной стороны со спицами 4, а с другой – с ограждением 6, что обеспечивает их интенсивные повороты и эффективную очистку от налипшей почвы. Достигнув зоны выгрузного транспортера 11, под действием веса корнеплодов спицы 4 диска 1 опускаются вниз, а сами корнеплоды скатываются вниз и отводятся за пределы устройства. Чистик 8 счищает со спиц 4 нависшие растительные остатки.

Заключение

Анализ конструкций существующих устройств выявил ряд общих недостатков, не позволяющих обеспечить более эффективную очистку на всех этапах процесса сепарации. Использование разрабатываемой системы может позволить улучшить качество сепарации до 15 % за счет адаптации угла наклона и скорости вращения, повысить производительность до 30 % за счет оптимизации скорости и увеличить общую эффективность до 20 % за счет автоматизации и адаптации.

Список источников

1. Производство сахара в Российской Федерации на 9 января ведут 19 сахарных заводов – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rossahar.ru/press-center/news/novosti/proizvodstvo-sakhara-v-rossiyskoy-federatsii-na-9-yanvaryavedut-19-sakharnykh-zavodov/>.
2. В разряде достаточно рентабельных. Сокращение урожайности при росте затрат и стабильных ценах снизило доходность сахарной свеклы – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/43870-v-razryade-dostatochno-rentabelnykh-sokrashchenie-urozhaynosti-pri-roste-zatrat-i-stabilnykh-tsenakh/>.
3. Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур // Е.И. Трубилин, В.А. Абликов. – Краснодар, 2010 – 325 с.
4. Свеклоуборочные комбайны и самоходные машины для уборки свеклы – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stroy-technics.ru/article/sveklouborochnye-kombainy-i-samokhodnyemashiny-dlya-uborki-svekly>.
5. HOLMER – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.holmer-maschinenbau.com/>.
6. GRIMME – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://products.grimme.com/ru/p/rexor-6300/>.



7. TERRA FELIS 3 EVO лучший в своем классе – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.holmer-maschinenbau.eu/ru/izdelija/pogruzочно-ochistitelnaja-tehnika/terra-felis-3-evo/terra-felis-3-evo.html>.

8. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях / Н.Н. Колчин, А.Г. Пономарев, С.Н. Петухов // Картофель и овощи – 2019. – № 3. – С.14-16.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Proizvodstvo sakhara v Rossiyskoy Federatsii na 9 yanvarya vedut 19 sakharnykh zavodov – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://rossahar.ru/press-center/news/novosti/proizvodstvo-sakhara-v-rossiyskoy-federatsii-na-9-yanvarya-vedut-19-sakharnykh-zavodov/>.

2. V razryade dostatochno rentabel'nykh. Sokrashcheniye urozhaynosti pri roste zatrat i stabil'nykh tsenakh snizilo dokhodnost' sakharnoy svekly – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/43870-v-razryade-dostatochno-rentabelnykh-sokrashchenie-urozhaynosti-pri-roste-zatrat-i-stabilnykh-tsenakh/>.

3. Trubilin Ye.I. Mashiny dlya uborki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur // Ye.I. Trubilin, V.A. Ablikov. – Krasnodar, 2010 – 325 s.

4. Svelkuborochnyye kombayny i samokhodnyye mashiny dlya uborki svekly – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://stroy-technics.ru/article/svelkuborochnyye-kombainy-i-samokhodnyye-mashiny-dlya-uborki-svekly>.

5. HOLMER – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.holmer-maschinenbau.com/>.

6. GRIMME – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://products.grimme.com/ru/p/rexor-6300/>.

7. TERRA FELIS 3 EVO luchshiy v svoem klasse – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.holmer-maschinenbau.eu/ru/izdelija/pogruzочно-ochistitelnaja-tehnika/terra-felis-3-evo/terra-felis-3-evo.html>.

8. Kak snizit' povrezhdeniye klubney v mashinnykh tekhnologiyakh / N.N. Kolchin, A.G. Ponomarev, S.N. Petukhov // Kartofel' i ovoshchi – 2019. – № 3. – S.14-16.

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

Сибирев Алексей Викторович, д-р техн. наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, sibirev2011@yandex.ru

Мосяков Максим Александрович, канд. техн. наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Михеев Максим Александрович, инженер, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, mak5im.mih@yandex.ru

Author Information

Sibirev Aleksey V., Doctor of Technical Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, sibirev2011@yandex.ru

Mosyakov Maksim A., Candidate of Technical Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Maks.Mosyakov@yandex.ru

Miheev Maksim Aleksandrovich, Engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, mak5im.mih@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 04.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 629.113.004.67
DOI: 10.36508/RSATU.2025.28.13.020

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСЛЯНЫХ ФОРСУНОК ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЕЙ ФОРСИРОВАННЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Александр Сергеевич Денисов¹, Алексей Александрович Симакин²✉, Вячеслав Юрьевич Данилин³, Михаил Анатольевич Баранов⁴, Екатерина Юрьевна Горшенина⁵

^{1,3,4} ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия

² Вольский военный институт материального обеспечения, г. Вольск, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехники и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

² simakin.aleksey84@mail.ru

Аннотация.

Проблемы и цель. В статье проведён анализ отказов форсированных двигателей, в том числе и цилиндропоршневой группы, причин недостаточной эффективности работы системы масляного охлаждения поршней. Цель – повысить надёжность работы дизелей совершенствованием масляных форсунок.

Материалы и методы. С использованием современных методов и средств полученные данные позволили достичь цели и сформулировать практические рекомендации по совершенствованию масляных форсунок охлаждения поршней, применяемых в дизелях машин агропромышленного комплекса. Экспериментальные и статистические данные получены на дизелях производства ПАО КАМАЗ.

Результаты. Анализ показателей надёжности (наработка на отказ) и технического состояния (давление впрыска масла, масса впрыснутого масла, дальность струи масла) форсунок охлаждения поршней дизелей.

Заключение. Нарботка на отказ масляных форсунок охлаждения поршней требует двукратной замены комплекта в период до капитального ремонта дизелей. Для обеспечения нормального теплового режима цилиндропоршневой группы существующая масляная форсунка должна впрыскивать струю на днище поршня под давлением 0,2–0,22 Мпа. Дальнейшее увеличение давления масла форсункой снижает общее давление в смазочной системе, что вызывает повышение интенсивности изнашивания деталей и сокращение ресурса двигателя в целом.

Ключевые слова: форсированные дизели, смазочные системы, масляные форсунки охлаждения поршней, струя масла

Для цитирования: Денисов А.С., Симакин А.А., Данилин В.Ю., Баранов М.А., Горшенина Е.Ю. Оценка эффективности масляных форсунок охлаждения поршней форсированных автотракторных дизелей // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 145-151 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.28.13.020>

Original article

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF OIL INJECTORS FOR COOLING PISTONS OF TURBOCHARGED TRACTOR DIESELS

Alexander S. Denisov¹, Aleksey A. Simakin²✉, Vyacheslav Yu. Danilin³, Mikhail A. Baranov⁴, Ekaterina Yu. Gorshenina⁵

^{1, 3, 4} Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

² Volsk Military Institute of Material Support, Volsk, Russia

⁵ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

² simakin.aleksey84@mail.ru

© Денисов А.С., Симакин А.А., Данилин В.Ю., Баранов М.А., Горшенина Е.Ю., 2025

**Abstract.**

Problem and purpose. The article analyzes the failures of forced engines, including the cylinder-piston group, the reasons for the insufficient efficiency of the piston oil cooling system. Purpose: to improve the reliability of diesel engines by improving oil injectors.

Methodology. Using modern methods and means, the obtained data allowed us to achieve the goal and formulate practical recommendations for improving piston cooling oil nozzles used in diesel engines of agricultural machinery. Experimental and statistical data were obtained on diesel engines manufactured by PJSC KAMAZ.

Results. Analysis of reliability indicators (mean time between failures) and technical condition (oil injection pressure, mass of injected oil, oil jet range) of diesel piston cooling nozzles.

Conclusion. The operating time between failures of piston cooling oil nozzles requires a double replacement of the set before a major overhaul of diesel engines. To ensure normal thermal conditions of the cylinder-piston group, the existing oil nozzle must inject a stream onto the piston bottom under a pressure of 0.2–0.22 MPa. A further increase in oil pressure by the nozzle reduces the overall pressure in the lubrication system, which causes an increase in the intensity of wear of parts and a reduction in the service life of the engine as a whole.

Key words: forced diesel engines, lubrication system, piston cooling oil nozzles, oil jet

For quotation: Denisov A.S., Simakin A.A., Danilin V.Yu., Baranov M.A., Gorshenina E.Yu. Evaluation of the effectiveness of oil injectors for cooling pistons of turbocharged tractor diesels // Herald of Ryazan State Agrotechnical University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P. 145-151 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.28.13.020>

Введение

Анализ безотказности автомобилей производства ПАО «КАМАЗ», на которые приходится свыше половины численности подвижного состава автомобильного транспорта страны в напряжённые периоды сельскохозяйственных работ, показывает, что 32-37 % отказов приходится на силовой агрегат, в том числе 25-30 % на двигатель. Кроме того, силовые агрегаты на базе двигателей КАМАЗ используются на различных видах сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны), а также стационарных силовых установках [1].

ПАО «КАМАЗ» постоянно совершенствует свой модельный ряд, в котором значительное место занимают двигатели ЕВРО, форсированные турбонаддувом, что отражается на эксплуатационных параметрах (табл. 1).

Результаты исследований и их обсуждение

Таблица 1 – Соотношение некоторых параметров базовых и форсированных двигателей КАМАЗ

Модель двигателя	Базовый КА-МАЗ-740	Форсированный КА-МАЗ-740.64-420
Мощность N, л.с.	210	420
Частота вращения КВ п, мин ⁻¹	2600	2100
Средняя нагрузка Р, %	56	60
Средняя относительная частота V, %	56	52
Средняя температура масла t _{м,о} С	65-75	90-105
Марка масла	М10Г2к	М10Дм
Периодичность замены масла L _м , тыс. км	15	25
Ресурс до КР, тыс. км	400	800

Как следует из данных таблицы 1, увеличение мощности двигателя в два раза вызвано снижением номинальной частоты вращения коленчатого вала, то есть в область максимального крутящего момента. Всё это повлекло повышение температуры деталей (особенно поршней), что сказалось и на температуре масла. Температура масла у форсированных двигателей на 25-30 градусов выше, чем у базовых.

На цилиндропоршневую группу (далее – ЦПГ) приходится 25-8 % всех отказов автотракторного двигателя. Основная причина отказов – повышенная интенсивность изнашивания и растрескивания поверхностей гильз и поршней, вызванная высокой температурой. Для снижения таких отказов на форсированных двигателях КАМАЗ устанавливаются масляные форсунки охлаждения поршней [1-3] (рис. 1).

Форсунки охлаждения устанавливаются в картерной части блока цилиндров и обеспечивают подачу масла из главной масляной магистрали на внутреннюю полость поршней при достижении в ней давления 80-120 кПа (0,8-1,2 кг/см²) [1-3] (на такое давление отрегулирован клапан, расположенный в каждой из форсунок) на внутреннюю полость поршней. На заводе-изготовителе двигателя при сборке следует следить за правильным положением трубки форсунки ориентировочно на гильзу цилиндра и поршень. Контакт с поршнем при работе недопустим.

Максимальные значения температуры поршня автотракторных дизелей наблюдаются в днище поршня (280-300° С), что отражено на рисунке 2. При использовании турбонаддува эти значения повышаются ещё на 20-30° С [4, 5]. Это требует повышения качества моторных масел и вызывает рост интенсивности отложений на деталях.

Поэтому эффективность работы форсунок охлаждения поршней во многом определяет безотказность и долговечность форсированных дизелей.

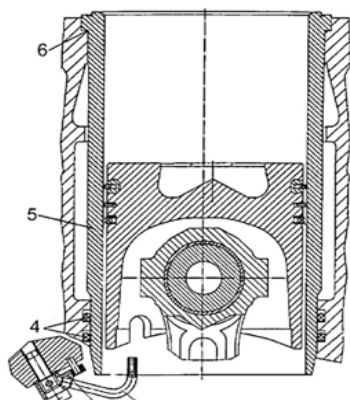


Рис. 1 – Форсунка охлаждения поршня и уплотнение гильзы цилиндров:

1 – трубка с соплом; 2 – корпус форсунки;
3 – корпус клапана;

4 – нижние уплотнительные кольца гильзы; 5 – гильза;
6 – верхнее уплотнительное кольцо

Fig. 1 – Piston cooling nozzle and cylinder liner seal:

1 – tube with nozzle; 2 – nozzle body; 3 – valve body;
4 – lower liner sealing rings; 5 – liner;
6 – upper sealing ring

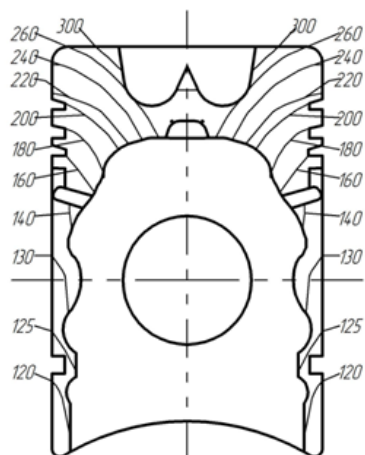


Рис. 2 – Распределение температуры по поршню дизеля ЯМЗ-238 [5]

Fig. 2 – Temperature distribution across the piston of the YaMZ-238 diesel engine [5]

Методика работы

На 12 предприятиях Саратова, на которых есть автомобили КАМАЗ ЕВРО, выяснили номера автомобилей, пробег с начала эксплуатации или после

ремонта двигателя. Из беседы с водителями или механиками выяснили, как часто бывают отказы из-за перегрева или неисправностей форсунки охлаждения поршней (частота случаев или пробег до отказа). Сфотографировали внешний вид форсунок и расположение их в блоке цилиндров.

Сняли форсунки и измерили давление впрыска масла, сфотографировали струю, оценили её по дальности и качеству (факел или конус), измерили массу прокаченной через форсунку жидкости. Всего было обследовано 25 автомобилей.

Для измерений указанных параметров была изготовлена установка (рис.3), содержащая: электродвигатель, регулятор оборотов, масляный насос, редуктор, ёмкость для масла, манометр, измерительную ёмкость, соединительные шланги, муфты

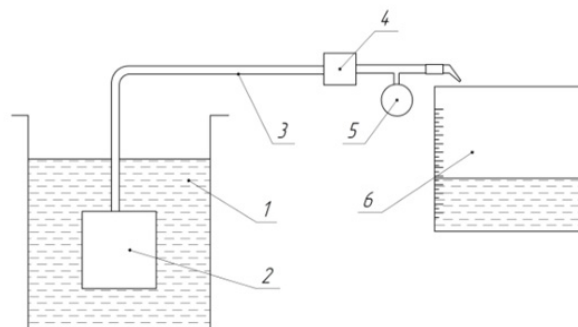


Рис. 3 – Установка для измерения параметров масляных форсунок:

1 – ёмкость для масла, 2 – масляный насос,
3 – шланг, 4 – редуктор, 5 – манометр,
6 – измерительная ёмкость

Fig. 3 – Installation for measuring parameters of oil injectors:

1 – oil container, 2 – oil pump, 3 – hose, 4 – reducer,
5 – pressure gauge, 6 – measuring container

Испытуемую форсунку закрепляли в муфте, включали электродвигатель и начинали повышать обороты насоса. При этом наблюдали за давлением масла по манометру и за характером истечения масла из форсунки. По манометру фиксировали давление масла и характер истечения масла из форсунки (в соответствии с рисунком 4). Мерной ёмкостью измеряли объём и массу масла. Все данные заносили в журнал. То же выполнили по форсункам из запчастей со склада. Данные обследования занесли в журнал.

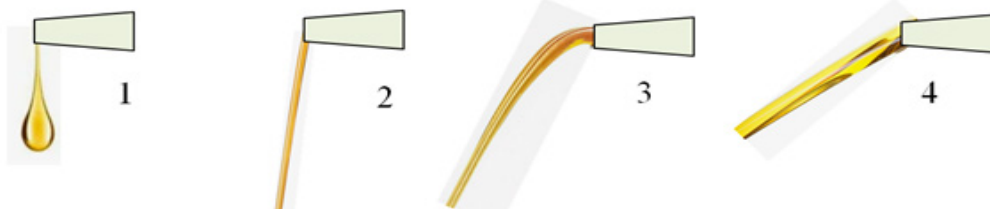


Рис. 4 – Изменение характера потока масла через форсунку с ростом давления открытия клапана:

1 – начало открытия клапана форсунки; 2 – образование струи; 3 – оптимальная струя;

4 – струя при значительном снижении давления масла в смазочной системе

Fig. 4 – Change in the nature of the oil flow through the injector with an increase in the valve opening pressure:

1 – beginning of the injector valve opening; 2 – formation of a jet; 3 – optimal jet;

4 – jet with a significant decrease in oil pressure in the lubrication system



Обсуждение результатов

Оценку технического состояния проводили по приведённой выше методике. На рисунке 5 приведено распределение наработки на отказ масляных форсунок двигателей КАМАЗ-ЕВРО.

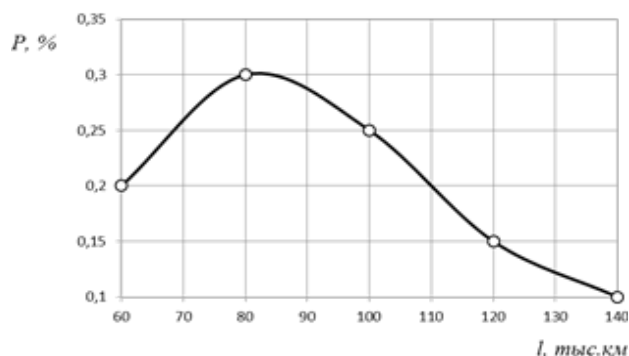


Рис. 5 – Распределение наработки на отказ масляных форсунок двигателей КАМАЗ-ЕВРО

Fig. 5 – Distribution of mean time between failures of oil injectors of KAMAZ-EURO engines

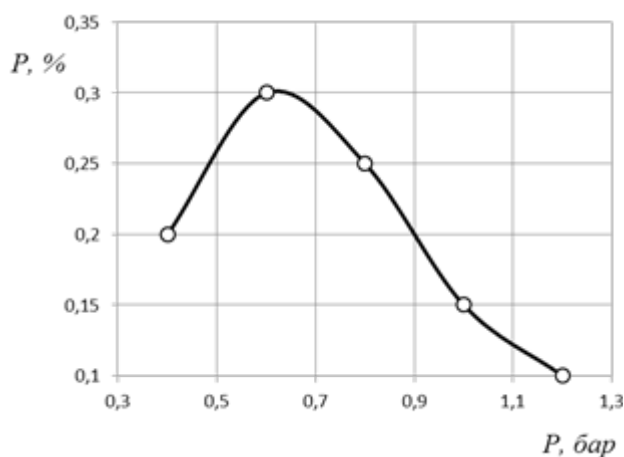


Рис. 6 – Распределение давления начала открытия клапана

Fig. 6 – Distribution of valve opening start pressure

Параметры распределения (средняя наработка 79 тыс. км, среднеквадратическое отклонение 75 тыс. км, коэффициент вариации 0,95) свидетельствуют, что оно близко к экспоненциальному, характерному для внезапных отказов из-за нарушения правил эксплуатации (повышенная периодичность замены масла, некачественная промывка смазочной системы), а также обусловленных конструктивно-технологическими недоработками, что менее вероятно. При средней наработке двигателей до капитального ремонта в третьей категории условий эксплуатации 300 тыс. км форсунки заменяются дважды.

При разборке двигателей обнаружено, что 32 % форсунок имеют значительные отклонения от угла установки и момента затяжки. Форсунки, поступающие в запчасти, при нормальной затяжке в 12 % не соответствуют требованиям по качеству струи и по подаче масла (рисунки 7-12)

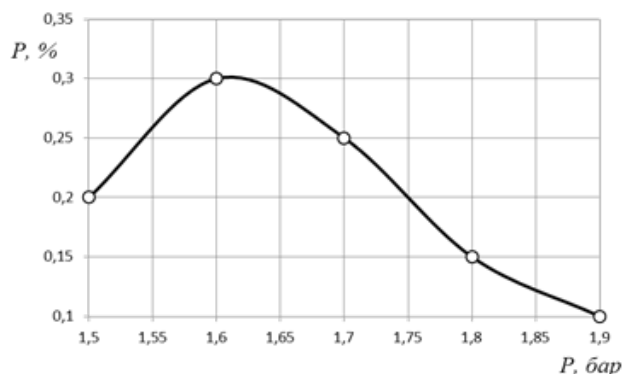


Рис. 7 – Распределение давления появления до появления течи

Fig. 7 – Distribution of pressure before leakage occurs

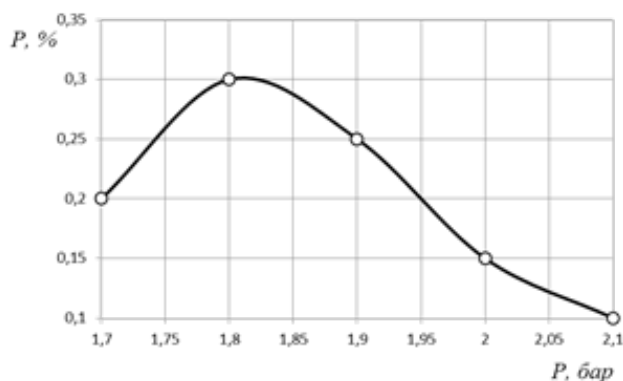


Рис. 8 – Распределение давления появления устойчивой струи масла

Fig. 8 – Distribution of pressure for the emergence of a stable oil stream

Давление масла при нормальной струе (рис. 9), при котором ламинарное движение переходит в турбулентное, ограничивается с двух сторон и составляет в среднем 30 % случаев.

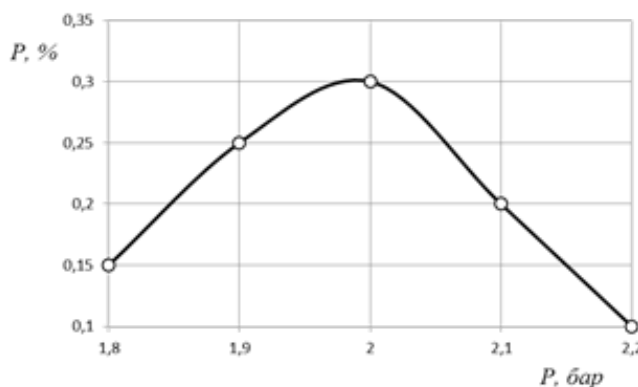


Рис. 9 – Распределение давления масла при нормальной струе

Fig. 9 – Distribution of oil pressure with normal jet

Максимум подачи масла через форсунку наблюдается при давлении в интервале 1,9-2,1 бар (рис. 10). Математическая обработка экспериментальных данных по полиному второй степени дала следующие параметры: свободный член – 773 г; коэффициент при P – 1169, коэффициент при P^2



– 269, параметр достоверности – 0,995 (довольно высокий). По этим значениям параметров, приравняв первую производную от массы M по давлению P нулю, получим $P_{opt} = 2,17$ бар.

При этом также длина струи масла достаточна, чтобы попасть на поршень (рис. 11).

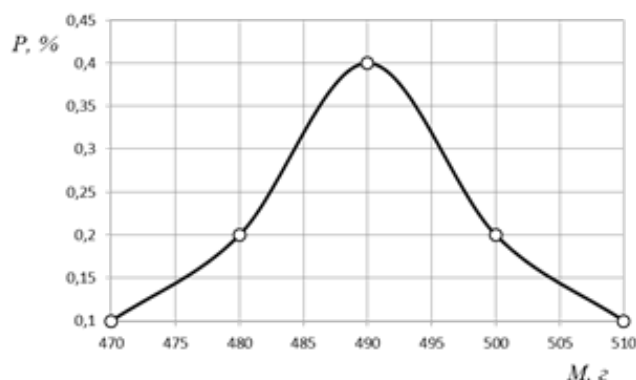


Рис. 10 – Распределение массы прокаченного форсункой масла

Fig. 10 – Distribution of the mass of oil pumped by the injector

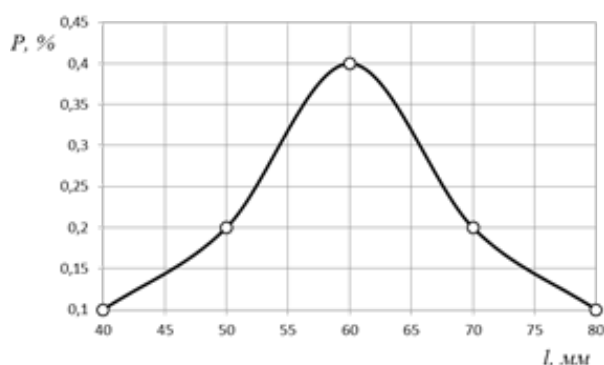


Рис 11 – Распределение длины струи прокаченного форсункой масла

Fig. 11 – Distribution of the length of the jet of oil pumped by the injector

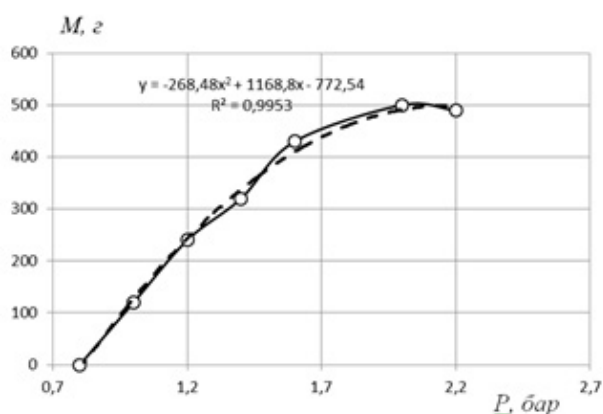


Рис. 12 – Влияние давления на массу подаваемой форсункой масла

Fig. 12 – Effect of pressure on the mass of oil supplied by the injector

Дальнейшее увеличение давления масла форсункой снижает общее давление в смазочной системе, что вызывает повышение интенсивности изнашивания деталей и сокращение ресурса двигателя.

Приведённые данные указывают на актуальность контроля температуры поршней при работе двигателя. Однако, возникает трудность передачи сигнала с термодатчика движущего поршня. В этом случае нужно использовать информацию о тепловом состоянии сопряжённой детали – гильзы. Для одного цилиндра это задача не сложная. В многоцилиндровых двигателях наблюдается значительная неравномерность диагностического параметра (подачи масла, температуры гильз). Поэтому диагностирование возможно только общее по температуре гильз или масла. Углублённый поиск неисправной форсунки требует разборочных работ.

Для нормальной работы масляных форсунок необходимо оптимальное давление масла для обеспечения устойчивой струи. Существующая конструкция форсунки приводит к снижению давления масла из главной магистрали. На восемь форсунок это составит $(0,8-1,2 \text{ кг/см}^2) \cdot 8 = (6,4-9,6 \text{ кг/см}^2)$. Это давление только на открытие форсунки. Кроме него требуется дополнительно давление на создание струи масла. Очень важно, чтобы струя масла попала в нужное место и в нужное время. Иначе эффективность такого охлаждения будет неоправданно низкой.

Для выполнения этого условия необходимо стабильное давление масла в системе. При использовании существующей смазочной системы наблюдаются высокочастотные колебания давления масла, что можно объяснить наличием пружины в редукционном клапане (рис. 13).

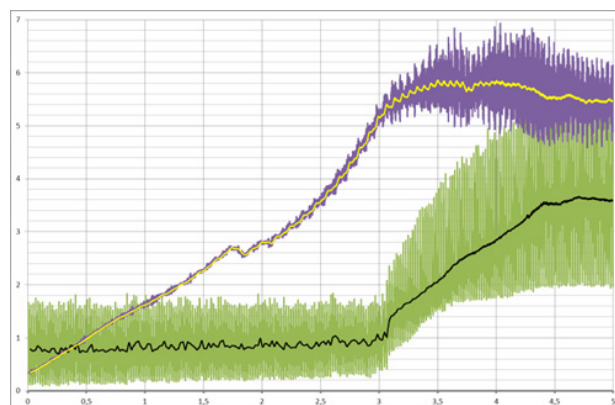


Рис. 13 – Характеристики разгона по давлению масла (верхняя кривая) и перемещению редукционного клапана (нижняя кривая)

Fig. 13 – Acceleration characteristics by oil pressure (upper curve) and the movement of the pressure reducing valve (lower curve)

Такая характеристика давления масла не может обеспечить устойчивости струи для охлаждения поршня. Для устранения высокочастотных колебаний давления масла можно использовать



гидроаккумулятор (или демпфер). Кроме того, при существующей неуправляемой по фазе (или времени) схеме впрыска масла струя характеризуется неравномерностью по фазе и амплитуде. Высокое давление и своевременное поступление для эффективности струи масла можно обеспечить гидромультипликатором и распределителем в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

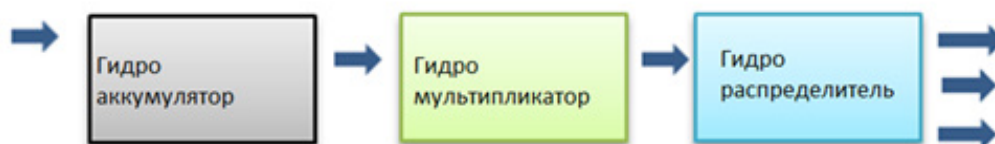


Рис. 14 – Последовательность этапов поступления сигнала давления масла к масляной форсунке

Fig. 14 – Sequence of stages of oil pressure signal receipt to the oil injector

При низком давлении в смазочной системе клапан форсунки закрыт, так как температура поршня не высока из-за низкого скоростного режима двигателя. Если клапан форсунки негерметичен, то её «заливает» пропускаемым маслом, что приводит к её закоксовыванию и ухудшению охлаждения поршня.

При повышении давления в смазочной системе с увеличением оборотов двигателя клапан форсунки начинает открываться и из неё появляется масло в виде капель.

С увеличением оборотов двигателя повышается давление масла и начинает формироваться струя. Чем больше давление масла, тем мощнее струя. Однако, чрезмерно мощная струя не обеспечивает пропорционального улучшения охлаждения поршня, но приводит к снижению давления в смазочной системе и сокращению ресурса двигателя. При положении поршня в нижней мёртвой точке (НМТ) струя охлаждающего масла при нормальном состоянии форсунки должна омывать днище поршня. При положении поршня в верхней мёртвой точке (ВМТ) должно быть так же. На практике же мощности струи не хватает и днище поршня недостаточно охлаждается.

Кроме того, по мере возрастания длины струи она приобретает конусный характер и теряет мощность и охлаждающую способность. Таким образом, пропускная способность клапана форсунки охлаждения имеет оптимум, при котором наблюдается максимум ресурса двигателя.

Заключение

1. Коэффициент вариации распределения наработки на отказ форсунки свидетельствует, что оно близко к экспоненциальному, характерному для внезапных отказов из-за нарушения правил эксплуатации (повышенная периодичность замены масла, некачественная промывка смазочной системы), а также обусловленных конструктивно-технологическими недоработками, что менее вероятно. При средней наработке двигателей до капитального ремонта в третьей категории условий

При этом составе указанных компонентов, включённых последовательно (рис.14), струя, подаваемая на днище поршня, приобретает импульсный характер. Максимум давления приходится на момент прохождения поршня в минимальном расстоянии от форсунки. Пополнение гидроаккумулятора происходит из смазочной системы в промежутки времени между впрысками форсунки.

эксплуатации 300 тыс. км форсунки заменяются дважды.

2. Для обеспечения нормального теплового режима цилиндропоршневой группы существующая масляная форсунка должна впрыскивать струю на днище поршня под давлением 0,2-0,22 МПа. Дальнейшее увеличение давления масла форсункой снижает общее давление в смазочной системе, что вызывает повышение интенсивности изнашивания деталей и сокращение ресурса двигателя.

3. При использовании существующей смазочной системы наблюдаются высокочастотные колебания давления масла, что можно объяснить наличием пружины в редукционном клапане, что не может обеспечить устойчивости струи для охлаждения поршня. Для устранения высокочастотных колебаний давления масла целесообразно использовать гидроаккумулятор. Высокое давление и своевременное поступление для эффективности струи масла можно обеспечить гидромультипликатором и распределителем в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя. При этом составе указанных компонентов, включённых последовательно, струя, подаваемая на днище поршня, приобретает импульсный характер.

Список источников

1. Азаматов Р.А. Восстановление деталей силового агрегата КАМАЗ-740.11-240 (EURO-1) / Р.А. Азаматов, А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, и др. под ред. А.С. Денисова. – Набережные Челны: -КАМАЗтехобслуживание. – 2007. – 307 с.
2. Денисов А.С. Обеспечение надёжности авто-тракторных двигателей / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. - 2007. – 422 с.
3. Руководства по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатели КамАЗ: 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.57-320, 740.50-3901001КД. – Набережные Челны. - ОАО «КамАЗ». – 2002. – 247 с.
4. Долецкий В.А. Комплексная система управления качеством на ЯМЗ // В.А. Долецкий. – Стандарты и качество. – 1973. – № 1. – С. 36-41.



5. Денисов А.С. Тюнинг смазочных систем авто- А.О. Носов // Саратов. – Саратов. гос. техн. ун-т. – тракторных дизелей / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, 2019. – 200 с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Azamatov R.A. Vosstanovleniye detaley silovogo agregata KAMAZ-740.11-240 (EURO-1) / R.A. Azamatov, A.S. Denisov, A.T. Kulakov, i dr. pod red. A.S. Denisova. – Naberezhnyye Chelny: -KamAZtekhobsluzhivaniye. – 2007. – 307 s.

2. Denisov A.S. Obespecheniye nadozhnosti avtotraktornykh dvigateley / A.S. Denisov, A.T. Kulakov. – Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. - 2007. – 422 s.

3. Rukovodstva po ekspluatatsii, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu. Dvigateli KamAZ: 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.57-320, 740.50-3901001KD. – Naberezhnyye Chelny. - OAO «KamAZ». – 2002. – 247 s.

4. Doletskiy V.A. Kompleksnaya sistema upravleniya kachestvom na YAMZ // V.A. Doletskiy. – Standarty i kachestvo. – 1973. – № 1. – S. 36-41.

5. Denisov A.S. Tyuning smazochnykh sistem avtotraktornykh dizeley / A.S. Denisov, A.T. Kulakov, A.O. Nosov // Saratov. – Sarat. gos. tekhn. un-t. – 2019. – 200 s.

Contribution of the authors:

All the 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

Денисов Александр Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия

Симакин Алексей Александрович, аспирант, Вольский военный институт материального обеспечения, г. Вольск, Россия, simakin.aleksey84@mail.ru

Данилин Вячеслав Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия

Баранов Михаил Анатольевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия

Горшенина Екатерина Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехники и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

Author Information

Denisov Alexander S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

Simakin Alexey A., Postgraduate Student, Volsk Military Institute of Material Support, Volsk, Russia, simakin.aleksey84@mail.ru

Danilin Vyacheslav Yu., Postgraduate Student, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

Baranov Mikhail A., Postgraduate Student, Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

Gorshenina Ekaterina Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnics and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Статья поступила в редакцию 04.03.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 04.03.2025; approved after reviewing 06.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.311.51
DOI: 10.36508/RSATU.2025.67.96.021

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН В СИСТЕМЕ INVENTOR PRO

Серик Кокибаевич Тойгамбаев¹✉, Хамзат Арсланбекович Абдулмажидов², Арман Таргынович Абеннов³

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
г. Москва, Россия

¹ toygambaev@rgau-msha.ru

² abdulmajidov@rgau-msha.ru

³ a.abenov@kostanay.gov.kz

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было определение основных физико-механических характеристик элементов, деталей, конструкций и узлов мелиоративных машин при их проектировании посредством графических редакторов и подготовке технической документации на изготовление.

Методология. Исследование проводили на основе рабочих органов мелиоративных машин кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. В качестве объектов исследования были использованы детали и конструкции мелиоративного каналоочистителя РР-303 (русловой ремонтёр с глубиной очищаемых мелиоративных каналов до 3 м). Особенностью рабочих органов мелиоративных каналоочистителей является их преимущественная работа во влажной среде. Предварительно детали и конструкции мелиоративных каналоочистителей проектировались методами ассоциативного черчения с использованием графического пакета Inventor Pro. При использовании методов ассоциативного черчения формируются два вида файлов: первый файл с объемной конструкцией; второй файл – чертеж в плоскости, полученный на основе объемного вида (т. е. техническая документация на изготовление). Далее произведена распечатка деталей на 3D-принтере, которые использовались при проведении лабораторных исследований. Проведены прочностные расчеты конструкций методом конечных элементов во встроенном в программу модуле анализа напряженного состояния. Также в исследованиях проведена оптимизация исследуемой конструкции рабочего оборудования каналоочистителя.

Результаты. В результате исследования, направленного на изучение физико-механических и прочностных характеристик спроектированных деталей и конструкций мелиоративных каналоочистителей, установлено, что прочностные показатели в значительной степени зависят от материала конструкции и ее размеров. В статье представлено исследование напряженного состояния одного из множества расчетов элементов рабочего оборудования каналоочистителя РР-303. Коэффициенты запаса прочности для исследуемой конструкции тяги определены расчетом методом конечных элементов и находятся в пределах 4,85 единиц, что говорит о значительном расходе материала. Поэтому для данного случая целесообразно применить конструкцию меньших размеров или использовать сталь умеренной прочности. В случаях нахождения коэффициента запаса прочности в значениях, близких к минимально допустимым величинам, проведены уточненные прочностные расчеты, заключающиеся в разбивке конструкции на конечные элементы с меньшими размерами тетраэдров, т. е., в получении более плотной конечно-элементной сетки. В ряде случаев при таком исследовании коэффициент запаса прочности оказывался ниже допустимых пределов – 1,5-2,0, принятых для анализа по предварительным расчетам. Оптимизация конструкции показала уменьшение массы конструкции на 37 %.

Заключение. Результаты исследования позволили выяснить физико-механические характеристики и прочность разработанных конструкций в системе Inventor Pro. Применение графических пакетов в процессе проектирования и исследования деталей и конструкций во многом позволяет улучшить с экономической точки зрения ресурсы, затрачиваемые на проведение экспериментальных лабораторных и полевых условиях.

Ключевые слова: проектирование деталей, прочностные расчеты, анализ напряженного состояния, мелиоративные машины, каналоочистители, метод конечных элементов, оптимизация



конструкции

Для цитирования: Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А., Абенев А.Т. Проектирование, прочностные расчеты и оптимизация формы конструкций рабочего оборудования мелиоративных машин в системе Inventor Pro // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.152-159 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.96.021>

Original article

DESIGN, STRENGTH CALCULATIONS AND SHAPE OPTIMIZATION OF WORKING EQUIPMENT STRUCTURES FOR RECLAMATION MACHINES IN THE INVENTOR PRO SYSTEM

Serik K. Toygambayev¹✉, Khamzat A. Abdulmazhidov², Arman T. Abenov³

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

¹ toygambaev@rgau-msha.ru

² abdulmajidov@rgau-msha.ru

³ a.abenov@kostanay.gov.kz

Abstract.

Problem and purpose. The purpose of this study was to determine the main physical and mechanical characteristics of elements, parts, structures and assemblies of reclamation machines during their design by means of graphic editors and preparation of technical documentation for manufacture.

Methodology. The study was carried out on the basis of the working bodies of reclamation machines of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Reclamation and Construction Works of the Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy. As objects of study, the details and structures of the reclamation canal cleaner RR-303 (channel repairer with the depth of the reclamation canals to be cleaned up to 3 m) were used. A feature of the working bodies of reclamation canal cleaners is their preferential operation in a humid environment. Previously, parts and structures of drain cleaners were designed using associative drawing methods using the Inventor Pro graphics package. The second file is a drawing in a plane, obtained on the basis of a three-dimensional view (i.e., technical documentation for manufacturing). Next, the parts that were used in laboratory research were printed on a 3D printer. Strength calculations of structures using the finite element method were carried out in the stress state analysis module built into the program. In addition, the study optimized the design of the working equipment of the canal cleaner.

Results. As a result of the study aimed at studying the physical, mechanical and strength characteristics of the designed parts and structures of reclamation canal cleaners, it was established that the strength indicators largely depend on the material of the structure and its dimensions. The safety factors for the rod design under study are determined by the finite element calculation and are within 4.85 units, which indicates a significant consumption of material. Therefore, in this case, it is advisable to use a smaller structure or use steel of moderate strength. In cases where the factor of safety is found in values close to the minimum permissible values, refined strength calculations were carried out, consisting in dividing the structure into finite elements with smaller tetrahedron sizes, i.e., in obtaining a denser finite element mesh. In a number of cases, during such a study, the factor of safety turned out to be below the permissible limits of 1.5 ... 2.0 accepted for analysis according to preliminary calculations. Optimization of the design showed a 37% reduction in the weight of the structure.

Conclusion. The results of the study made it possible to find out the physical and mechanical characteristics and strength of the developed structures in the Inventor Pro system.

Key words: design of parts, strength calculations, stress analysis, reclamation machines, channel cleaners, finite element method, design optimization

For citation: Toygambayev S.K., Abdulmazhidov Kh.A., Abenov A.T. Design, strength calculations and optimization of the form of structures of working equipment of reclamation machines in the Inventor Pro system. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 152-159 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.67.96.021>

Введение

В настоящее время проектные отделы производственных предприятий и заводов, занимающихся выпуском рабочего оборудования мелиоративных машин, не обходятся без применения таких графических пакетов как Компас, Т-флекс, nanoCAD, Inventor Pro и др. Данные программы предназначены для машиностроительного черчения. Объемные элементы создаются в указанных программах с применением таких операций с эскизами как

выдавливание, вращение, изгиб, оболочка и лфтинг. При этом основными задачами конструктора являются проектирование деталей рабочего оборудования машин с достаточной для эксплуатации прочностью, поддержание функциональности элементов машин и обеспечение ресурсосбережения посредством оптимизации форм конструкций.

При проектировании элементов машин с использованием графических пакетов применяются ассоциативные методы черчения, при которых, в



отличие от классических способов, предварительно формируется объемная конструкция, а затем 3D элемент «переводится в плоскость», т. е. формируется техническая документация (чертежи) для изготовления детали со всеми видами, разрезами, сечениями и спецификациями. Таким образом, в проекте для одной детали последовательно формируются два файла: первый файл – объемный элемент; второй файл – чертеж. Аналогично создаются файлы сборок. Такой метод значительно ускоряет процесс конструирования. Основными операциями для формирования объемных деталей во всех графических пакетах являются: выдавливание эскиза; вращение эскиза; изгиб; лобфтинг; оболочка. При необходимости в процессе проектирования в качестве основы часто используются стандартные профили из библиотеки, такие как швеллеры, двутавры, уголки, трубы и др.

В статье представлены методы решения задач по проектированию и прочностному расчету элементов рабочих органов мелиоративных машин на примере каналаочистителя РР-303, обладающего множеством деталей, задействованных в кинематических схемах при значительных статических нагрузках. Кроме того, особенностью каналаочистителя с точки зрения прочностных характеристик является то, что элементы рабочего оборудования преимущественно работают во влажной среде, которая подвергает их коррозии.

Материалы и методы исследования

Рассматриваемая в работе каналаочистительная машина РР-303 по режиму относится к машинам периодического действия с позиционным выполнением рабочих операций. Рабочее оборудование используется в качестве боковой навески на базовый гусеничный трактор. Рабочая операция проводится с помощью ковша, движущегося на жестких направляющих строго по оси канала. Исследования напряженного состояния проведены для наиболее нагруженного элемента рабочего оборудования – толкателя, обеспечивающего подъем массивной конструкции направляющих и ковша с грунтом и заилением из русла канала. Таких толкателей в рабочем оборудовании имеются две штуки, одна в передней, вторая в задней части базового трактора. Поэтому нагрузку, приходящуюся на них при расчете, можно разделить на два. Максимальные значения нагрузок наблюдаются в момент подъема наполненного ковша со дна канала. Требуемое усилие подъема наполненного ковша и жестких направляющих обеспечивается двумя гидроцилиндрами двустороннего действия.

Созданные таким образом новые рабочие органы мелиоративных машин требуют проверки их прочностных характеристик. Проверка сводится к определению нормальных и касательных напряжений и сравнению их с допустимыми [1-3].

Для элементов и конструкций рабочего оборудования мелиоративных машин, созданных из стандартных профилей (двутавры, уголки, швеллеры и т. д.) при проведении прочностного расчета по представленным формулам, принятым по дисциплине «Сопротивление материалов», сложностей не возникает, поскольку указанные профили имеют одинаковое сечение по всей длине [4-6].

Используемая в настоящей работе графическая система Inventor Pro предназначена для машиностроительного проектирования. Содержит библиотеки стандартных профилей и элементов, множество опций по созданию, редактированию и расчету объемных деталей, конструкций, сборок, узлов и агрегатов. Анализ напряженного состояния конструкций в программе проводится методом конечных элементов, подготовка технической документации на изготовление деталей выполняется методами ассоциативного черчения.

При незначительных длинах (габаритах) конструкций, сформированных из стандартных профилей, нет необходимости учета их силы тяжести. Однако, к примеру, при исследовании балок, изготовленных из двутавров при их значительных размерах, могут происходить деформации и без действия нагрузок, но под действием собственной силы тяжести. Для этого в системе Inventor Pro в модуле для проведения прочностного расчета предусмотрена опция по учету собственной силы тяжести конструкции. В такой ситуации при определении напряжений сжатия необходимо учитывать такую характеристику профилей как гибкость. Гибкость определяется в зависимости от высоты стенки профиля и ее толщины [7, 8].

Кроме того, все необходимые для исследования напряженного состояния характеристики стандартных профилей, такие как: моменты инерции, полярные и осевые моменты инерции, масса погонного метра, плотность и т. п., определены и приводятся в справочной литературе [9-12].

Однако при исследованиях, проводимых обычными способами по конструкциям неправильной формы, возникают сложности по определению моментов инерции, точного центра тяжести, массы элемента и т. д., что вызывает определенные сложности. Поэтому 3D-моделирование элементов и возможность задания материала исследуемой детали во многом упрощают задачу.

Многие современные графические пакеты содержат модуль для проведения прочностных расчетов деталей машин. Такое исследование носит название – прочностной расчет деталей машин методом конечных элементов. Сущность этого метода расчета заключается в создании объемной конструкции и разбивке ее на конечные элементы – тетраэдры, на которых (как на простейших элементах) программа в отдельности определяет действующие напряжения при заданных материалах, установленных опорах и нагрузках, затем результаты интегрируются и выдается общий отчет с окончательными данными. В целом подробное проведение прочностного расчета детали методом конечных элементов заключается в последовательном выполнении следующих шагов:

- 1) формирование объемной конструкции с помощью перечисленных методов;
- 2) задание материала конструкции, в рассматриваемом случае при проектировании толкателя сдвоенной стрелы каналаочистителя РР-303 используется сталь 45;
- 3) определение опорных плоскостей (в зависимости от назначения детали это может быть защемление, шарнир или элемент без трения);



4) задание нагрузок. Система Inventor Pro позволяет задавать сосредоточенные усилия, распределенную нагрузку, момент кручения, силу тяги и удаленную силу;

5) разбивка конструкции на конечные элементы, т. е. создание конечно-элементной сетки. По умолчанию размеры конечных элементов в данной программе равны 0,1 мм. При необходимости существует возможность изменения данных размеров, т. е. настройки конечно-элементной сетки;

6) проведение расчета (моделирование) встроенным модулем согласно правилам, принятым по дисциплине «Сопротивление материалов»;

7) после выполнения всех перечисленных пунктов система Inventor Pro формирует отчет в виде отдельного файла, в котором представлены таблицы и эпюры с результатами исследований.

Результаты исследований и их обсуждение

Показателем, на основе которого выносится решение о возможности применения разработанной конструкции, является коэффициент запаса прочности. В исследуемом примере с толкателем сдвоенной стрелы рабочего оборудования каналоочистителя РР-303 данный коэффициент равен 4,85, что значительно больше по сравнению с допустимым диапазоном для конструкции, изготовленной из стали. Поэтому здесь допустимо изменение геометрических размеров элемента или использование менее прочной стали, обеспечивающей достаточную величину коэффициента запаса прочности в допустимых пределах для предварительного исследования от 1,5 до 2,0. Немаловажной задачей при исследовании конструкций является определение величин действующих на деталь нагрузок. В целом нагрузки, приходящиеся на элементы рабочего оборудования, определены в зависимости от тяговых сопротивлений, возникающих при работе ковшового рабочего органа каналоочистителя производством коэффициента удельного сопротивления копания на площадь поперечного сечения срезаемой ковшем стружки грунта. В исследуемом случае на толкатель действует сила от гидроцилиндра подъема-опускания рабочего оборудования, включая ковш с грунтом и наносами [13-15].

При необходимости программа позволяет проводить уточненные прочностные расчеты, которые заключаются в более подробном рассмотрении детали под нагрузками. Здесь формируется более плотная конечно-элементная сетка. По умолчанию размеры конечных элементов (тетраэдров) в системе Inventor Pro составляют 0,1 мм. Для получения более точной эпюры коэффициента запаса прочности указанное значение уменьшается. Проведены исследования при значениях данного параметра в 0,12; 0,10; 0,08; 0,06; 0,04 мм, которые показывают снижение коэффициента запаса прочности при более подробном рассмотрении конструкции.

При таком раскладе возникает вопрос касательно изменения коэффициента запаса прочности с учетом того, что не меняются конструкция, материал, точки приложения и величины нагрузок и моментов. В уточненном прочностном расчете

изменению подвержены только лишь размеры тетраэдров, что определенно снижает коэффициент запаса прочности. Все это подтверждает значимость более точного рассмотрения конструкции. Казалось бы, значения размеров конечных элементов при каждом новом исследовании меняются с шагом 0,02 мм и значения коэффициента запаса прочности должны также получаться с определенным шагом и описываться линейной аппроксимацией и коэффициент детерминации должен быть близок к единице. Однако на практике так не происходит, более того, описание с коэффициентом детерминации, близким к единице, дает полиномиальная аппроксимация, которая говорит о незначительной степени сходимости результатов расчетов по полученной конечно-элементной сетке. Для принятия решения о возможности применения разработанной конструкции остается важным нахождение коэффициента запаса прочности по значениям, близким к максимально допустимым.

В этом случае требуется увеличить геометрические размеры конструкции (толщину и длину) или применить более прочные стали. Допустимо также применение других способов упрочнения детали, например, таких как выполнение фасок и скруглений на напряженных участках детали или применение химико-термических видов обработки конструкций.

Уточненный расчет может быть проведен как для всей детали, так и для наиболее нагруженных участков. При подробном рассмотрении это могут быть угловые участки детали, участки со сварными швами, тавровые и нахлесточные соединения. Вопросы, касающиеся коэффициента запаса прочности для сталей и чугунов, а также уточненных расчетов, авторами раскрыты в работах [2-4; 5; 16-18]. На рисунке 1 представлена исследуемая конструкция с цветной эпюрой, показывающей значения величины смещения. Два крайних участка толкателя имеют шарнирные опоры, одна из которых неподвижна в пространстве. В середине конструкции также имеется подвижная шарнирная опора для гидроцилиндра, осуществляющего подъем и опускание рабочего оборудования каналоочистителя.

При рассмотрении цветной эпюры смещений на рисунке 1 складывается впечатление о значительных деформациях при заданных нагрузках. Однако необходимо отметить, что цветная эпюра смещений показывает лишь характер деформаций и для реальной оценки следует ориентироваться по шкале численных значений, представленной рядом.

На рисунке 2 представлена эпюра коэффициента запаса прочности по всей поверхности исследуемой конструкции.

В таблице представлены результаты расчета толкателя по действующим нагрузкам, наиболее важными из которых для принятия решения о возможности применения об изменении конструкции являются объем, масса конструкции и минимальное значение коэффициента запаса прочности.

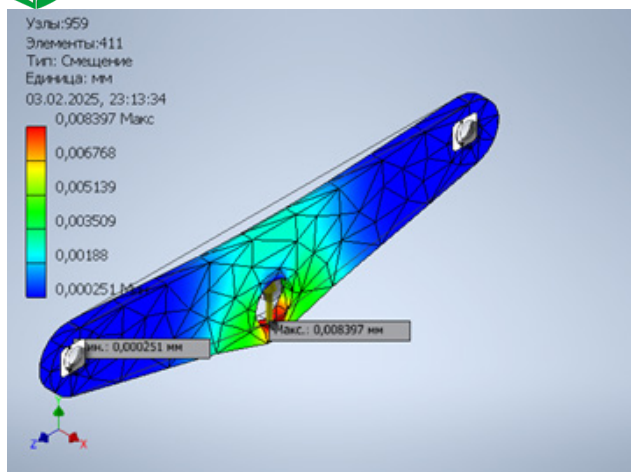


Рис. 1 – Анализ напряженного состояния толкателя сдвоенной стрелы каналоочистителя РР-303 –цветная эпюра смещений;

Fig. 1 – Analysis of the stress state of the pusher of the double boom of the RR-303 sewer cleaner – Color offset plot

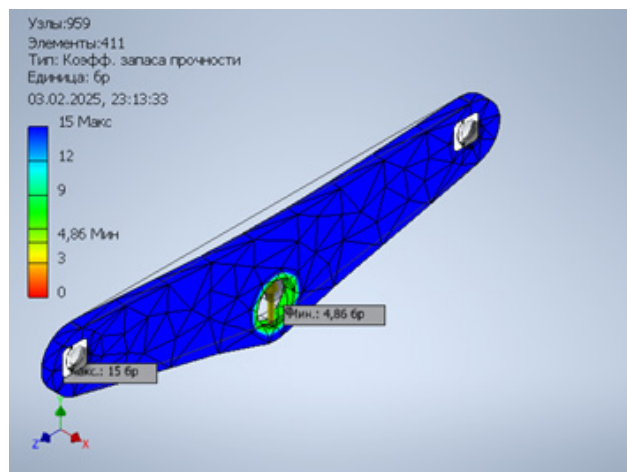


Рис. 2 – Анализ напряженного состояния толкателя сдвоенной стрелы каналоочистителя РР-303 – цветная эпюра коэффициента запаса прочности

Fig. 2 – Analysis of the stress state of the pusher of the double boom of the RR-303 sewer cleaner – Color plot of the factor of safety

Таблица - Результаты расчета толкателя по действующим нагрузкам

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	1916110 мм ³	
Масса	15,0414 кг	
Напряжение по Мизесу	0,0550106 МПа	42,627 МПа
1-ое основное напряжение	-0,256307 МПа	28,575 МПа
3-е основное напряжение	-20,4465 МПа	0,834079 МПа
Смещение	0,000251025 мм	0,0083972 мм
Коэфф. запаса прочности	4,85608 бр	15 бр
Напряжение XX	-1,25948 МПа	1,98534 МПа
Напряжение XY	-0,840294 МПа	1,08158 МПа
Напряжение XZ	-0,854028 МПа	1,09851 МПа
Напряжение YY	-18,4588 МПа	26,2902 МПа
Напряжение YZ	-24,4371 МПа	23,3586 МПа
Напряжение ZZ	-19,5619 МПа	23,6979 МПа
Смещение по оси X	-0,000298783 мм	0,000118193 мм
Смещение по оси Y	-0,00839668 мм	0,000699422 мм
Смещение по оси Z	-0,00270491 мм	0,00272143 мм
Эквивалентная деформация	0,000000228925 бр	0,000176081 бр
1-ая основная деформация	0,0000000948982 бр	0,000164957 бр
3-я основная деформация	-0,00013851 бр	-0,000000117229 бр
Деформация XX	-0,0000209129 бр	0,00000229264 бр
Деформация XY	-0,00000520182 бр	0,00000669549 бр
Деформация XZ	-0,00000528684 бр	0,0000068003 бр
Деформация YY	-0,000118676 бр	0,000149622 бр
Деформация YZ	-0,000151277 бр	0,000144601 бр
Деформация ZZ	-0,000127312 бр	0,000138213 бр

В случае получения по результатам предварительного исследования коэффициента запаса прочности в пределах от 1,5 до 2,0 единиц деталь считается годной для применения в составе рабочего оборудования машины. Если запас прочности окажется менее 1,5 – деталь не применяется в со-

ставе сборки, нагруженной указанными силами. В этом случае требуется увеличить геометрические размеры конструкции (толщину и длину) или применить более прочные стали. Допустимо также применение других способов упрочнения детали, например, выполнения фасок и скруглений на на-



пряженных участках или отверстий детали, или применение химико-термических видов обработки конструкций. Если коэффициент запаса прочности окажется более 2,0 единиц, закономерно проводить оптимизацию конструкции.

В настоящей работе проведена также оптимизация толкателя (рис. 3) сдвоенной стрелы мелиоративного каналаочистителя РР-303. Основанием для проведения оптимизации конструкции толкателя являются расчетные значения коэффициента запаса прочности, равные 4,85, превышающие допускаемые пределы.

Оптимизация конструкции толкателя проводится специальным встроенным модулем, который носит название «генератор форм». Работа по данному модулю осуществляется так же, как и по модулю прочностного расчета с последовательным решением следующих задач:

- 1) создание объемной конструкции толкателя;
- 2) назначение материала конструкции;
- 3) определение опорных зависимостей;
- 4) задание нагрузок (сосредоточенные и распределенные нагрузки, моменты, сила тяжести);
- 5) сохранение области (т. е. указание участков на модели конструкции, для которых не требуется выполнять процесс создания формы. Данные области могут иметь вид прямоугольника, призмы или цилиндра);
- 6) создание плоскости симметрии;
- 7) задание параметров генератора форм (т. е. задание целевого значения для относительного уменьшения массы исходной детали, а также плотности конечно-элементной сетки; при более высокой плотности сетки ссылочная форма будет более точной);
- 8) наложение сетки на модель для ее отображения относительно элементов геометрии;
- 9) запуск генератора форм для создания ссылочной конфигурации;
- 10) создание файла – отчета с результатами исследования;
- 11) полученная в результате оптимизации форма толкателя доводится до точных размеров с помощью опции «Повышение уровня формы».

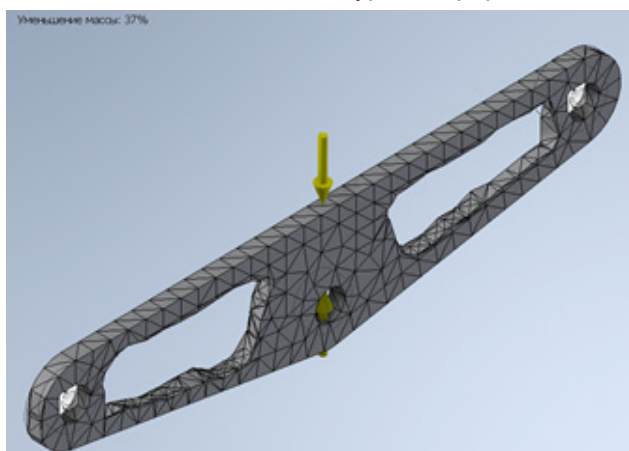


Рис. 3 – Результат оптимизации толкателя сдвоенной стрелы каналаочистителя РР-303
Fig. 3 – Result of optimization of the RR-303 double boom feeder

Полученную по результатам оптимизации конструкцию толкателя необходимо доработать с добавлением фасок и скруглений, выравниванием угловых участков и получением ровных поверхностей на участках соединения с другими элементами рабочего оборудования.

Применение компьютерных программ для проектирования и проведения прочностных характеристик определенно вносит в исследования свои положительные стороны, поскольку еще в период становления таких редакторов запас прочности задавали заведомо большим и конструкции выглядели громоздкими.

Заключение

По проведенным исследованиям можно сделать выводы о том, что:

- 1) разработанная конструкция на примере толкателя сдвоенной стрелы каналаочистителя РР-303 на предварительном этапе проведения анализа напряженного состояния обладает значительным запасом прочности, равным 4,85 единиц;
- 2) при таких условиях эксплуатации конструкции целесообразно проводить ее оптимизацию с целью уменьшения массы и металлоемкости в соответствии с требуемым диапазоном значений коэффициента запаса прочности;
- 3) по проведенной оптимизации массу конструкции удалось уменьшить на 37 %;
- 4) разработанная конструкция толкателя по условиям прочности вполне применима в составе рабочего оборудования каналаочистителя РР-303;
- 5) проведенные исследования подтверждают целесообразность выполнения прочностных расчетов методом конечных элементов и оптимизацию форм конструкций элементов рабочего оборудования мелиоративных машин.

Список источников

1. Краснокутский, И. И. Развитие методов автоматизации проектирования компоновок универсально-сборных станочных приспособлений / И. И. Краснокутский, В. А. Колюнов // Технология металлов. – 2023. – № 12. – С. 24–31. – DOI 10.31044/1684-2499-2023-0-12-24-31.
2. Тойгамбаев, С. К. Прочностные расчеты элементов рабочего оборудования каналаочистителей / С. К. Тойгамбаев, Х. А. Абдулмажидов // Сельский механизатор. – 2024. – № 7. – С. 37–39. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-7-37-38-39.
3. Аведьян, А. Открываем новые возможности ANSYS Discovery 2020 R1 / А. Аведьян // САПР и графика. – 2020. – № 2(280). – С. 50–56.
4. Абдулмажидов, Х. А. Анализ напряженного состояния при разработке новых конструкций рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин / Х. А. Абдулмажидов, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 78–87. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-3-78-87.
5. Иванов, А. Ю. Формирование компетентности в области профессиональных программных продуктов / А. Ю. Иванов, С. Р. Козырева // Профессиональное образование. Столица. – 2010. – № 11. – С. 39–41.
6. Абдулмажидов, Х. А. Комплексное проекти-



рование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, А. С. Матвеев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2(72). – С. 40–46.

7.Ахмедиев, С. К. Метод конечных элементов для расчета тонкостенных конструкций / С. К. Ахмедиев, Г. Ж. Орынтаева, Б. С. Доненбаев // Труды университета. – 2013. – № 1(50). – С. 57–60.

8.Гутиев, Э. К. Метод конечных элементов в автомобилестроении / Э. К. Гутиев, А. М. Дауров, В. Б. Кутателадзе // Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Всероссийской научно-практической конференции в честь 90-летия факультета технологического менеджмента, Владикавказ, 14–16 ноября 2019 года. Том 2. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2019. – С. 166–168.

9.Ишутинов, В. В. Опыт прочностных расчетов элементов высокочастотных рулевых электроприводов / В. В. Ишутинов, А. Н. Русских // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2020. – № 1. – С. 32–38. – DOI 10.24160/1993–6982-2020-1-32-38.

10.Шабанов, Б. М. Прочностной расчет ковша элеватора в autodesk inventor / Б. М. Шабанов, Е. Д. Барсук // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017): Материалы V Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 11–15 сентября 2017 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2017. – С. 338–341.

11.Оценка циклических напряжений деталей сельскохозяйственных машин посредством металлопокрытий / С. Г. Тютрин, И. И. Манило, А. А. Горюших [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. – 2012. – № 3(3). – С. 74–76.

12.Шовкопляс, А. В. Основные направления повышения износостойкости рабочих органов дорожно-строительных и подъемно-транспортных машин / А. В. Шовкопляс // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2021. – № 6(48). – С. 242–245.

13.Филимонов, С. Г. Математическое моделирование процесса накопления усталостных повреждений деталей - основа для управления ресурсоемкостью функционирования электромеханических систем / С. Г. Филимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – № 2(46). – С. 51–53.

14.Апатенко, А. С. Повышение эффективности эксплуатации машин мелиоративного комплекса / А. С. Апатенко, Н. И. Владимировна // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 3. – С. 38–40.

15.Кучинский, Р. Г. Повышение эффективности эксплуатации одноковшовых гидравлических экскаваторов путем модернизации их рабочего оборудования / Р. Г. Кучинский, О. А. Ступин, С. И. Некрасов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 5–6. – С. 104–113. – DOI 10.34286/1995–4646–2022-86-5-6-104–113.

16.Дидманидзе, О. Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Егоров. – Москва: Учебно-методический центр "Триада", 2017. – 230 с.

17.Жуков, И. А. Рациональное проектирование деталей ударных узлов машин ударного действия / И. А. Жуков // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – № 1. – С. 51–58.

18.Вальехо Мальдонадо, П. Р. Реализация процесса проектирования кривошипно-шатунного механизма ДВС в системе AUTODESK INVENTOR / П. Р. Вальехо Мальдонадо, Д. К. Гришин, В. А. Лодня // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2008. – № 2. – С. 85–89.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- 1.Krasnokutskij, I. I. *Razvitie metodov avtomatizacii proektirovaniya komponentov universal'no-sborny'x stanochny'x prispособlenij* / I. I. Krasnokutskij, V. A. Kolyunov // *Texnologiya metallov*. – 2023. – № 12. – С. 24–31. – DOI 10.31044/1684–2499-2023-0-12-24-31.
- 2.Tojgambaev, S. K. *Prochnostny'e raschety' e'lementov rabocheho oborudovaniya kanaloochistitelej* / S. K. Tojgambaev, X. A. Abdulmashidov // *Sel'skij mexanizator*. – 2024. – № 7. – С. 37–39. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-7-37-38-39.
- 3.Aved'yan, A. *Otkry'vaem novy'e vozmozhnosti ANSYS Discovery 2020 R1* / A. Aved'yan // *SAPR i grafika*. – 2020. – № 2(280). – С. 50–56.
- 4.Abdulmashidov, X. A. *Analiz napryazhennogo sostoyaniya pri razrabotke novy'x konstrukcij rabocheho oborudovaniya stroitel'ny'x i meliorativny'x mashin* / X. A. Abdulmashidov, V. I. Balabanov, N. B. Marty'nova // *Nauka v central'noj Rossii*. – 2021. – № 3(51). – С. 78–87. – DOI 10.35887/2305–2538-2021-3-78-87.
- 5.Ivanov, A. Yu. *Formirovanie kompetentnosti v oblasti professional'ny'x programmny'x produktov* / A. Yu. Ivanov, S. R. Kozy'reva // *Professional'noe obrazovanie*. Stolicza. – 2010. – № 11. – С. 39–41.
- 6.Abdulmashidov, X. A. *Kompleksnoe proektirovanie i prochnostny'e raschety' konstrukcij mashin prirodoobustrojstva v sisteme Inventor Pro* / X. A. Abdulmashidov, A. S. Matveev // *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vy'sshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvenny'j agroinzhenerny'j universitet imeni V.P. Goryachkina"*. – 2016. – № 2(72). – С. 40–46.
- 7.Axmediev, S. K. *Metod konechny'x e'lementov dlya rascheta tonkostenny'x konstrukcij* / S. K. Axmediev,



G. Zh. Oryntaeva, B. S. Donenbaev // *Trudy universiteta*. – 2013. – № 1(50). – S. 57–60.

8. Gutiev, E. K. Metod konechny'x e'lementov v avtomobilestroenii / E. K. Gutiev, A. M. Daurov, V. B. Kutateladze // *Innovacionny'e tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skoxozyajstvennoj produkcii: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii v chest' 90-letiya fakul'teta tekhnologicheskogo menedzhmenta, Vladikavkaz, 14–16 noyabrya 2019 goda. Tom 2.* – Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2019. – S. 166–168.

9. Ishutinov, V. V. Opyt' prochnostny'x raschetov e'lementov vy'sokodinamichny'x rulevy'x e'lektroprivodov / V. V. Ishutinov, A. N. Russkix // *Vestnik Moskovskogo e'nergeticheskogo instituta. Vestnik MEI*. – 2020. – № 1. – S. 32–38. – DOI 10.24160/1993–6982-2020-1-32-38.

10. Shabanov, B. M. Prochnostnoj raschet kovsha e'levatora v autodesk inventor / B. M. Shabanov, E. D. Barsuk // *Innovacionny'e tekhnologii v nauke i obrazovanii (ITNO-2017): Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Rostov-na-Donu, 11–15 sentyabrya 2017 goda.* – Rostov-na-Donu: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "DGTU-PRINT", 2017. – S. 338–341.

11. Ocenka ciklicheskix napryazhenij detalej sel'xoz mashin posredstvom metallopokrytij / S. G. Tyutrin, I. I. Manilo, A. A. Gorodskix [i dr.] // *Vestnik Kurganskoj GSXA*. – 2012. – № 3(3). – S. 74–76.

12. Shovkoplyas, A. V. Osnovny'e napravleniya povysheniya iznosostoykosti rabochix organov dorozhno-stroitel'ny'x ipod'emno-transportny'x mashin / A. V. Shovkoplyas // *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya*. – 2021. – № 6(48). – S. 242–245.

13. Filimonov, S. G. Matematicheskoe modelirovanie processa nakopleniya ustalostny'x povrezhdenij detalej - osnova dlya upravleniya resursoemkost'yu funkcionirovaniya e'lektromexanicheskix sistem / S. G. Filimonov // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2005. – № 2(46). – S. 51–53.

14. Apatenko, A. S. Povyshenie e'fektivnosti e'kspluatacii mashin meliorativnogo kompleksa / A. S. Apatenko, N. I. Vladimirova // *Texnika i oborudovanie dlya sela*. – 2014. – № 3. – S. 38–40.

15. Kuchinskij, R. G. Povyshenie e'fektivnosti e'kspluatacii odnokovshovy'x gidravlicheskix e'kskavatorov putem modernizacii ix rabochego oborudovaniya / R. G. Kuchinskij, O. A. Stupin, S. I. Nekrasov // *Mezhdunarodnyj tekhniko-e'konomicheskij zhurnal*. – 2022. – № 5–6. – S. 104–113. – DOI 10.34286/1995–4646–2022-86-5-6-104–113.

16. Didmanidze, O. N. Osnovy optimal'nogo proektirovaniya mashinno-traktorny'x agregatov / O. N. Didmanidze, R. N. Egorov. – Moskva: Uchebno-metodicheskij centr "Triada", 2017. – 230 s.

17. Zhukov, I. A. Racional'noe proektirovanie detalej udarny'x uzlov mashin udarnogo dejstviya / I. A. Zhukov // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – 2016. – № 1. – S. 51–58.

18. Val'exo Mal'donado, P. R. Realizaciya processa proektirovaniya krivoshipno-shatunnogo mexanizma DVS v sisteme AUTODESK INVENTOR / P. R. Val'exo Mal'donado, D. K. Grishin, V. A. Lodnya // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenerny'e issledovaniya*. – 2008. – № 2. – S. 85–89.

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

Тойгамбаев Серик Кокибаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, toygambaev@rgau-msha.ru

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович, канд. техн. наук, доцент кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, abdulmajidov@rgau-msha.ru

Абенев Арман Таргынович, соискатель, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, a.abenov@kostanay.gov.kz

Author Information

Toygambayev Serik K., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, toygambaev@rgau-msha.ru

Abdulmashidov Khamzat A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Reclamation and Construction Works, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, abdulmajidov@rgau-msha.ru

Abenov Arman T., PhD Candidate, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.abenov@kostanay.gov.kz

Статья поступила в редакцию 28.03.2025; одобрена после рецензирования 13.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 28.03.2025; approved after reviewing 13.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГАТУ, 2025, т.17, № 2, с. 160-166
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, № 2, pp.160-166

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.358

DOI: 10.36508/RSATU.2025.89.44.022

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ОПЫТА ЛЬНОТЕРЕБИЛЬНОЙ СЕКЦИИ В СОСТАВЕ КОМБАЙНА ЛК-4А

Антон Сергеевич Фирсов^{1✉}, Артем Викторович Виноградов²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», г. Тверь, Россия

¹ sevenrom777@yandex.ru

² arvinogradov@tvgscha.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Повышение производительности процесса уборки льна-долгунца обуславливается совершенством функционирования механических устройств, осуществляющих теревление растительной массы. Целью работы является выявление оптимизированных рабочих характеристик и эксплуатационных режимов льнотеребильной секции, входящей в состав уборочного комбайна модели ЛК-4А.

Методология. Исследование проводилось в рамках полевого эксперимента на базе ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА» в период 2023-2024 гг. Составлен план полнофакторного эксперимента типа ПФЭ 3²; исследуемыми факторами приняты: поступательная скорость льнокомбайна ЛК-4А и количество цилиндрических выступов на шкивах теревильного аппарата. Откликами эксперимента являются: растянутость ленты льна, чистота теревления и потери семян. Эксперимент проведен в количестве 27 опытов на участке площадью 2,7 га.

Результаты. Результаты эксперимента показали, что предлагаемый инновационный теревильный аппарат обеспечивает высокое качество теревления, особенно при повышенной влажности стеблей. Статистическая обработка данных подтвердила воспроизводимость результатов опытов. Полученные графические зависимости позволили установить оптимальные параметры и режимы работы инновационного теревильного аппарата: количество цилиндрических выступов – 8 шт., скорость движения комбайна в диапазоне 1,7-2,2 м/с позволяет добиться минимальной растянутости ленты, скорость движения комбайна в диапазоне 1,6-2,1 м/с обеспечивает высокие показатели чистоты теревления, скорость движения комбайна в диапазоне 1,6-2,3 м/с снижает до минимума потери семян.

Заключение. Полученные в результате исследования выводы позволяют выявить рациональные параметры и режимы работы теревильного аппарата для льна. Полученные результаты могут быть использованы при разработке основных узлов льноуборочной техники с целью оптимизации и повышения эффективности процесса уборки льна-долгунца.

Ключевые слова: льнотеребильная секция, комбайн ЛК-4А, полевой опыт, растянутость ленты льна, оптимальные параметры, качество теревления

Для цитирования: Фирсов А.С., Виноградов А.В. Результаты полевого опыта льнотеребильной секции в составе комбайна ЛК-4А // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.160-166 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.89.44.022>

Original article

THE RESULTS OF THE FIELD EXPERIENCE OF THE FLAX MILLING SECTION AS PART OF THE LK-4A COMBINE

Anton S. Firsov^{1✉}, Artem V. Vinogradov²

© Фирсов А.С., Виноградов А.В., 2025



^{1,2} Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia

¹sevenrom777@yandex.ru

²arvinogradov@tvgscha.ru

Abstract.

Problem and purpose. The increase in productivity of the flax harvesting process is due to the perfection of the functioning of mechanical devices that carry out the cultivation of plant matter. The aim of the work is to identify optimized performance characteristics and operating modes of the flax milling section, which is part of the LK-4A model combine harvester.

Methodology. The study was conducted as part of a field experiment on the basis of the Tver State Agricultural Academy in the period 2023-2025. The PFE 32 full-factor plan was used, in which two factors varied: the translational speed of the LK-4A flax combine and the number of cylindrical projections on the pulleys of the milling machine. The responses of the experiment were the elongation of the flax ribbon, the purity of the pulling and the loss of seeds. The experiment was conducted on an area of 2.7 hectares using 27 plots.

Results. The experimental results showed that the upgraded teasing machine provides a higher quality of teasing compared to the standard device, especially with high humidity of the stem. The optimal operating parameters of the machine are: the number of cylindrical projections is 8 pcs., the speed of the combine is 1.7–2.2 m/s to minimize the stretch of the belt, 1.6-2.1 m/s for maximum purity of pulling and 1.6-2.3 m/s to minimize seed loss. Statistical data processing confirmed the reproducibility of the results.

Conclusion. The conclusions of the article confirm the applicability of the rational parameters and modes of operation of the grinding apparatus, identified in laboratory studies, in real field conditions. The results obtained can be used to optimize the flax harvesting process and increase its efficiency.

Key words: flax milling section, combine harvester LK-4A, field experience, stretch of flax ribbon, optimal parameters, quality of spinning

For citation: Firsov A.S., Vinogradov A.V. The results of the field experience of the flax milling section as part of the LK-4a combine // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P. 160-166 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.89.44.022>

Введение

Уборка льна-долгунца является важной составляющей сельскохозяйственного производства. К техническим средствам для уборки льна-долгунца предъявляются высокие требования по точности и эффективности работы [1]. Качество уборки напрямую влияет на последующую переработку льна и, соответственно, на конечный продукт. Одним из ключевых этапов уборки является тербление стеблестоя. Эффективность тербления зависит от множества факторов, включая конструкцию тербильного аппарата, скорость движения комбайна и состояние стеблестоя.

В последние годы наблюдается все большая необходимость исследования проблемы уборки льна-долгунца и модернизации льноуборочной техники с целью повышения производительности и снижения потерь семян и стеблей льна [2]. В частности, внимание уделяется вопросу модернизации конструкций льнотербильных аппаратов, которые непосредственно влияют на качество тербления. В связи с этим актуальным становится проведение лабораторных и полевых исследований, направленных на выявление оптимальных параметров и режимов работы льнотербильных аппаратов в реальных условиях.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния двух ключевых факторов (поступательной скорости льнокомбайна ЛК-4А и количества цилиндрических выступов на шкивах тербильного аппарата) на качество уборки льна-долгунца сорта Тверской [3]. Целью исследования было определение оптимальных параметров и режимов работы инновационного тербильного аппарата. Параметрами оптимизации являлись: растянутость ленты льна, чистота тербления и потери семян.

Исследовательская часть

На основании рекогносцировочных опытов и лабораторных исследований в период 2023-2024 гг. был спланирован полевой опыт. Опыт проводился на кафедре «Технологические и транспортные машины и комплексы» ФГБОУ ВО Тверская ГСХА при участии в ежегодных полевых исследованиях.

Проведение полевого опыта соответствует требованиям к планированию инженерного эксперимента: соблюдаются равенство всех условий, соответствие условиям типичности и точности опыта. На рисунке 1 представлена блок-схема влияния исследуемых в полевом опыте факторов на отклики эксперимента [4].

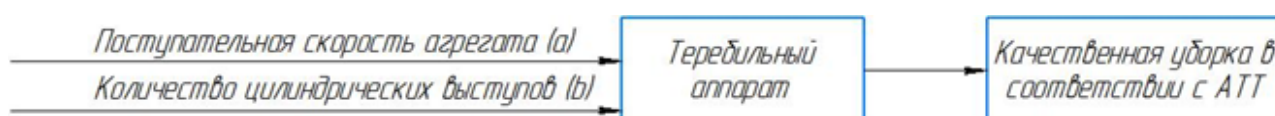


Рис. 1 – Блок-схема взаимодействия факторов с откликами
Fig. 1 – Block-diagram of interaction of factors with responses



Исследуемыми факторами в полевом опыте выбраны поступательная скорость льнокомбайна (ЛК-4А) и количество цилиндрических выступов на шкивах теребильного аппарата.

Откликами проведения опыта являются растянутость ленты льна, чистота теребления и потери семян.

Убираемой культурой является лен-долгунец сорта Тверской [5]. Участок для проведения опыта представлен на рисунке 3. Экспериментальная

площадь для серий опытов, проводившихся в агротехнических условиях, имела общую зарегистрированную площадь 2,7 га. Полевые участки были изолированы от основной территории защитными полосами минимальной ширины 3,5 м, обеспечивая свободный доступ для осуществления всех необходимых агротехнологических операций. Количество делянок при проведении опыта – 27. Схема расположения делянок представлена на рисунке 2.

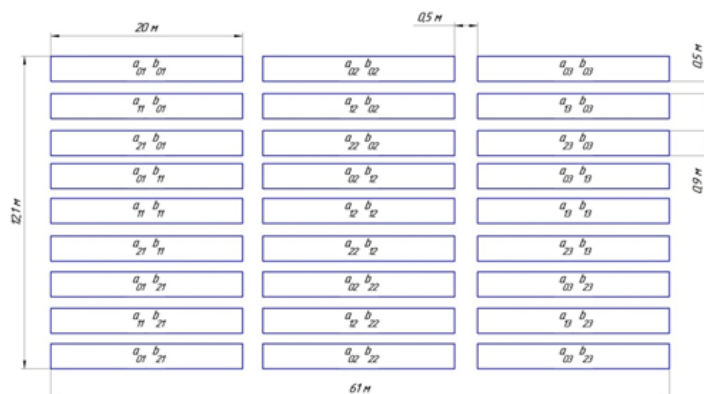


Рис. 2 – Схема расположения делянок
Fig. 2 – Layout of plots



Рис. 3 – Введенный в оборот сельскохозяйственный участок
Fig. 3 – Agricultural plot put into circulation

Характеристика опытного участка: целинная земля, возрастом 7 лет с локализацией очагов заражения борщевиком Сосновского (15 %), всходами полыни и разреженным кустарником с диаметром стволов до 12 мм и высотой, не превышающей 70 см. Предшествующий агрофон: удаление кустарников механическим способом посредством кустореза, двукратное поверхностное дискование почвы на глубину 14 см, дренаж грунта до глубины 50 см, лемешная глубокая обработка земли на уровне 24 см и последующая двукратная культивация посевного слоя на глубину 12-14 см [6].

Лен-долгунец во время проведения эксперимента выбран сорта «Тверской», средней длиной стебля 0,76 м, диаметром 1,7 мм, ранней желтой спелости, влажностью 62,1 %, густотой

стебля 1374 шт/м², засоренностью посева 3,4 %.

Отмечено отсутствие процедуры внесения удобрений, поскольку проведенные, согласно установленным стандартам, лабораторные анализы почвенного покрова подтвердили достаточный уровень естественного плодородия.

В течение вегетационного периода дважды было произведено распыление фунгицидных препаратов и гербицидов с помощью прицепного опрыскивателя ОП-2000.

Учитывая количество исследуемых факторов, был выбран полнофакторный эксперимент типа ПФЭ 32 по математическому методу планирования [7]. План-матрица эксперимента приведен в таблице.

Таблица – План-матрица полевого опыта при уборке льна-долгуна

Фактор и ед. изм.	Исходное обозначение	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования натуральные			Уровни варьирования кодовые		
				min	0	max	min	0	max
Скорость движения агрегата Vм, м/с	X1	x1	0,5	1,5	2	2,5	-1	0	1
Выступы на шкивах k, шт	X2	x2	2	6	8	10	-1	0	1

Поле подготовлено исходя из агротехнических требований на уборку льна-долгуна (рис. 4). На рисунках 5-6 представлены исследуемые шкивы с

цилиндрическими выступами и теребильная секция при уборке льна-долгуна льнокомбайном ЛК-4А [8].



а



б

а – оценка растянутости вытеребленного стеблестоя при влажности 37 %; б – модернизированная теребильная секция льноуборочного комбайна

Рис. 4 – Оценка работы инновационного теребильного аппарата

а – evaluation of the stretchability of the harvested stalks at 37% moisture; б – modernized top-lifting section of a flax harvester

Fig. 4 – Evaluation of the operation of the innovative top-lifting apparatus



Рис. 5 – Цилиндрические стержни (выступы) на рабочей поверхности ведущего шкива

Fig. 5 – Cylindrical rods (protrusions) on the working surface of the drive pulley



Рис. 6 – Рабочий процесс льнотеребильного аппарата с продольными ручьями и шкивами, снабженными цилиндрическими выступами

Fig. 6 – Working process of a flax-pulling machine with longitudinal grooves and pulleys equipped with cylindrical protrusions

Проведение полевого опыта структурировано на три последовательных этапа. Первый этап – установление исходных показателей стеблестоя [9]. Второй этап – настройка теребильной секции для теребления льна-долгунца, принятая на основе параметров и режимов, обоснованных результатами предшествующих теоретических и лабораторных исследований [10]. Третий этап – комплекс исследовательских мероприятий, направленных на изучение влияния выбранных настроек оборудования на качество производимого теребления. [11].

Параметрами оптимизации (откликами) являются растянутость ленты льна, чистота теребления стеблестоя и потери семян. Исследуемыми факторами выбраны поступательная скорость машинно-тракторного агрегата и количество цилиндрических выступов на шкивах теребильного аппарата [12, 13].

По результатам полученных в ходе полевого опыта данных дисперсия воспроизводимости для отклика «растянутость ленты» составила 0,3; для отклика «чистота теребления» – 0,16; для отклика «потери семян» – 0,54. Сформулированы уравнения регрессии по каждому из результатов.

1. Уравнение регрессии для отклика «растянутость ленты льна»:

$$P = 1,16 + 0,78x_1^2 + 0,78x_2^2 \quad (1)$$

2. Уравнение регрессии для отклика «чистота теребления»:

$$Ч = 90,47 - 2,96x_1 + 59x_1^2 + 59,14x_2^2 \quad (2)$$

3. Уравнение регрессии для отклика «потери семян»:

$$\alpha = 6,44 - 1,8x_2 + 4,77x_1^2 + 4,96x_2 \quad (3)$$

Рисунки 7-8 содержат графики и карты изолиний, иллюстрирующие зависимость степени растяжения льняной ленты от скорости движения устройства и числа цилиндрических выступов.

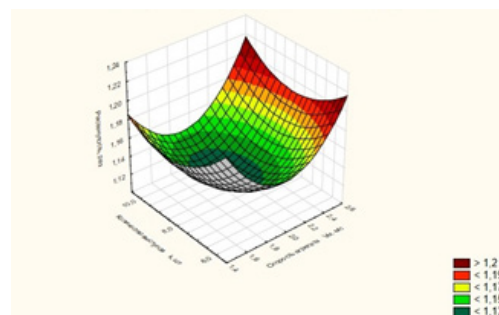


Рис. 7 – График растянутости, зависящий от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 7 – Graph of stretchability depending on the speed of the unit and the number of cylindrical protrusions



Рисунки 9-10 демонстрируют аналогичные графические материалы, отражающие влияние указанных факторов на чистоту процесса тербления. На рисунках 11-12 показаны графики и линии уровня, характеризующие изменение потерь семян в зависимости от тех же переменных – скорости агрегата и количества цилиндрических выступов.

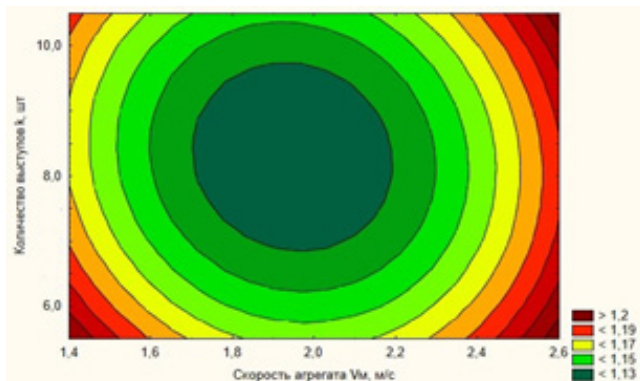


Рис. 8 – Карта линий уровня растянутости, зависящей от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 8 – Map of stretch level lines depending on the unit speed and the number of cylindrical protrusions

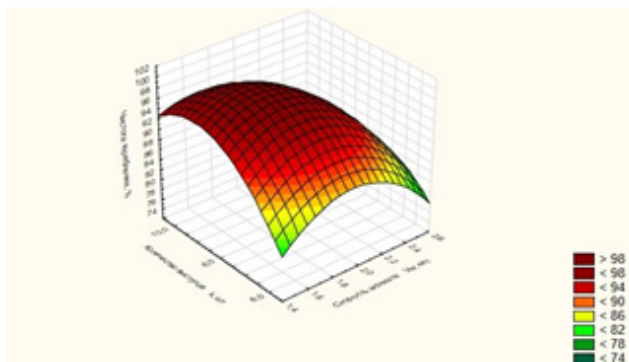


Рис. 9 – График чистоты тербления, зависящий от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 9 – Graph of the purity of the scraping, depending on the speed of the unit and the number of cylindrical protrusions

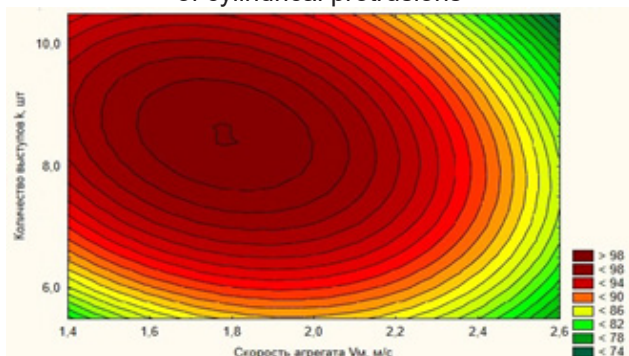


Рис. 10 – Карта линий уровня чистоты тербления, зависящей от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 10 – Map of the lines of the level of purity of the scraping, depending on the speed of the unit and the number of cylindrical protrusions

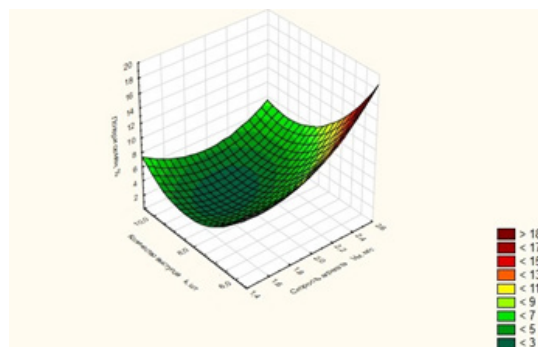


Рис. 11 – График потери семян, зависящий от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 11 – Graph of seed loss depending on the speed of the unit and the number of cylindrical protrusions

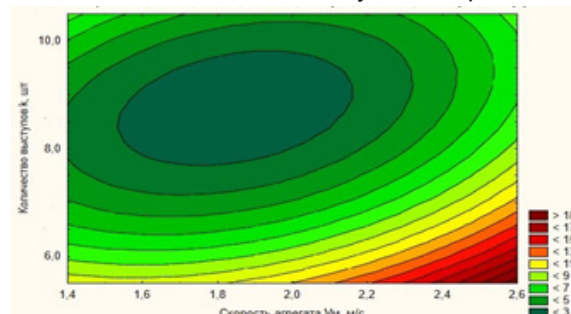


Рис. 12 – Карта линий уровня потери семян, зависящей от скорости агрегата и количества цилиндрических выступов

Fig. 12 – Map of seed loss level lines depending on the unit speed and the number of cylindrical protrusions

На основе эмпирически полученных результатов построены сопоставимые графические зависимости, характеризующие эффективность функционирования предложенной инновационной конструкции тербильного аппарата и штатного тербильного аппарата льнокомбайна ЛК-4А (рис. 13).

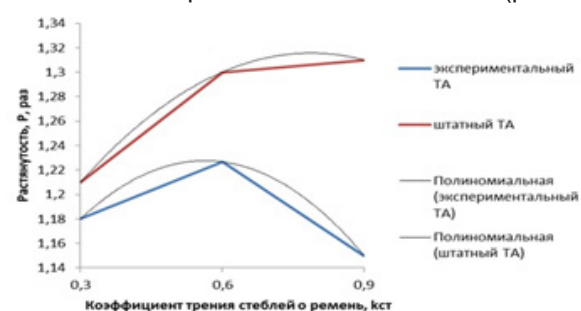


Рис. 13 – График эффективности работы предложенной конструкции тербильного аппарата

Fig. 13 – Graph of the efficiency of the proposed design of the top-lifting apparatus

Анализ уравнений регрессии, построенных на основе полученных экспериментальных данных, свидетельствует о значительном влиянии коэффициента трения между стеблями льна и ремнем тербильного аппарата на степень растянутости ленты льна. Исходя из полученных в результате исследования графических зависимостей уста-



новлено, что независимо от состояния стеблестоя (влажности, усилия на теребильном ремне) наиболее эффективным для осуществления технологического процесса теребления льна-долгунца является предлагаемый инновационный теребильный аппарат.

Следует отметить, что при эксплуатации усовершенствованного теребильного устройства с неизменными начальными параметрами натяжения ремня и состоянием его контактной поверхности величина удлиненности льна изменяется несущественно и колеблется в диапазоне 1,11-1,22. Более того, выявлено оптимальное значение коэффициента трения стеблей, позволяющее эффективно применять устройство в сравнении с базовой моделью теребильного аппарата, включая условия повышенной влажности (65-68 %) [14].

В качестве заключения следует отметить, что разработанный и реализованный механизм обеспечивает высокое качество теребления не только вертикально стоящего стеблестоя льна-долгунца (при комплексной оценке состояния $K_p=5$ баллов), но и наклоненного льна ($K_p=2,0$ - $2,5$ балла) вплоть до угла наклона 70° относительно направления движения льнокомбайна, даже при экстремальной влажности стеблевого материала до 68 %.

Дополнительно зафиксировано уменьшение потери стеблей на этапе теребления на 7 %; сокращение деформаций стеблей на 4-5 % и снижение потерь семян до уровня 8-9 % по сравнению с базовым вариантом теребильного аппарата.

Заключение

В результате проведения полевого опыта установлено, что выявленные в ходе лабораторных исследований рациональные параметры и режимы работы теребильного аппарата применимы в полевых условиях. Рациональное значение количества цилиндрических выступов – 8 шт. Растянута лентя льна минимальна (1,10-1,13 раз) при скорости движения машинно-тракторного агрегата в диапазоне 1,7-2,2 м/с. Чистота теребления максимальна (99,6-99,9) при скорости движения машинно-тракторного агрегата 1,6-2,1 м/с. Минимальное значение потери семян до (4 %) при скорости движения агрегата в диапазоне 1,6-2,3 м/с.

Список источников

1. Зинцов, А. Н. О плющении стеблей при уборке льна-долгунца / А. Н. Зинцов, В. С. Шевченко, В. А. Добрецов // Аграрный вестник Нечерноземья. – 2023. – № 1(9). – С. 49-57. – DOI 10.52025/2712-8679_2023_01_49. – EDN GXKUIE.
2. Булаткин, А. Д. Методы оценки безопасности и эргономичности конструкции и машин для уборки льна / А. Д. Булаткин, А. В. Шик, М. В. Цайц // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : Сборник научных трудов. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 59-63. – EDN CZEYPW.
3. Лен-долгунец, лен-масличный // Руководство по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве : Производственно-практическое издание. – Москва : ООО "Плодородие", 2018. – С. 78-85. – EDN XWDGOD..
4. Астахов, В. С. Оценка растянутости ленты льна-долгунца формируемой теребильным аппа-

ратом льноуборочной машины / В. С. Астахов, О. В. Гордеенко, С. В. Курзенков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2022. – № 1(21). – С. 179-187.

5. Колесников, А. В. Показатели государственного мониторинга реализации Доктрины продовольственной безопасности России / А. В. Колесников // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2024. – № 3(109). – С. 29-42. – DOI 10.33938/243-29

6. Оптимизация режимов работы теребильного аппарата комбайна для уборки технических культур / А. В. Виноградов, А. С. Фирсов, А. В. Кудрявцев [и др.] // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 2, № 4(6). – С. 25-33. – DOI 10.54016/SVITOK.2023.78.16.004. – EDN PBQBFRR.

7. Ковалев, Н. Г., Хайлис Г. А., Ковалев М. М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). Учебное пособие [Текст] / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев - М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. - 208 с.

8. Виноградов, А.В. Совершенствование льно-теребильных аппаратов с поперечными ручьями / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалёв, А.В. Виноградов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 2. – С. 30-33

9. Фирсов, А. С. Экспериментальные исследования параметров уборки льна / А. С. Фирсов, А. В. Виноградов // Инновационные технологии в АПК: проблемы и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции, Тверь, 12–14 октября 2021 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2021. – С. 261-264.

10. Виноградов, А.В. Исследование процесса взаимодействия ремней со шкивами в льноуборочной машине / А.В. Виноградов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2012. - № 6. - С. 6

11. Оптимизация режимов работы теребильного аппарата комбайна для уборки технических культур / А. В. Виноградов, А. С. Фирсов, А. В. Кудрявцев и др. // Технические культуры. - Научный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 2, № 4(6). – С. 25-33.

12. Виноградов, А.В. Влияние скоростного режима в аппаратах с продольными ручьями на показатели теребления льна / М.М. Ковалёв, А.В. Виноградов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 5. – С. 30-33.

13. Виноградов, А.В. Анализ схем рабочих органов периодического действия для механизированной уборки льна / М.М. Ковалёв, А.В. Виноградов // Сборник научных трудов «Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы». – Тверь. – ТГУ. – 2018. – С. 224-229.

14. Результаты оптимизации параметров и режимов работы льнотеребильного аппарата / А. В. Виноградов, Р. А. Ростовцев, Г. А. Перов, Д. А. Шишин // Цифровизация в АПК: технологические ресурсы, новые возможности и вызовы времени : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Тверь, 11–13 февраля 2020 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 234-237. – EDN RQCLXF.



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Zintsov, A. N. O plyushchenii stebley pri uborke l'na-dolguntsa / A. N. Zintsov, V. S. Shevchenko, V. A. Dobretsov // *Agrarnyy vestnik Nечernozem'ya*. – 2023. – № 1(9). – S. 49-57. – DOI 10.52025/2712-8679_2023_01_49. – EDN GXKUIE.
2. Bulatkin, A. D. Metody otsenki bezopasnosti i ergonomichnosti konstruksii i mashin dlya uborki l'na / A. D. Bulatkin, A. V. Shik, M. V. Tsayts // *Innovatsionnyye resheniya v tekhnologiyakh i mekhanizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* : Sbornik nauchnykh trudov. – Gorki : Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2023. – S. 59-63. – EDN CZEYPW.
3. Len-dolgunets, len-maslichnyy // *Rukovodstvo po provedeniyu registratsionnykh ispytaniy agrokhimikatov v sel'skom khozyaystve* : Proizvodstvenno-prakticheskoye izdaniye. – Moskva : OOO "Plodorodiye", 2018. – S. 78-85. – EDN XWDGOD.
4. Astakhov, V. S. Otsenka rastyanutosti lenty l'na-dolguntsa formiruyemoy terebil'nyy apparatom l'nouborochnoy mashiny / V. S. Astakhov, O. V. Gordeyenko, S. V. Kurzenkov // *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*. – 2022. – № 1(21). – S. 179-187.
5. Kolesnikov, A. V. Pokazateli gosudarstvennogo monitoringa realizatsii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii / A. V. Kolesnikov // *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve*. – 2024. – № 3(109). – S. 29-42. – DOI 10.33938/243-29
6. Optimizatsiya rezhimov raboty terebil'nogo apparata kombayna dlya uborki tekhnicheskikh kul'tur / A. V. Vinogradov, A. S. Firsov, A. V. Kudryavtsev [i dr.] // *Tekhnicheskiye kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. – 2022. – T. 2, № 4(6). – S. 25-33. – DOI 10.54016/SVITOK.2023.78.16.004. – EDN PBQBFR.
7. Kovalev, N. G., Khaylis G. A., Kovalev M. M. Sel'skokhozyaystvennyye materialy (vidy, sostav, svoystva). *Uchebnoye posobiye [Tekst]* / N. G. Kovalev, G. A. Khaylis, M. M. Kovalev - M.: IK «Rodnik», zhurnal «Agrarnaya nauka», 1998. - 208 s.
8. Vinogradov, A.V. Sovershenstvovaniye l'noterebil'nykh apparatov s poperechnymi ruch'yami / G.A. Khaylis, M.M. Kovalov, A.V. Vinogradov // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. – 2011. – № 2. – S. 30-33
9. Firsov, A. S. Eksperimental'nyye issledovaniya parametrov uborki l'na / A. S. Firsov, A. V. Vinogradov // *Innovatsionnyye tekhnologii v APK: problemy i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tver', 12–14 oktyabrya 2021 goda*. – Tver': Izdatel'stvo Tverskoy GSKHA, 2021. – S. 261-264.
10. Vinogradov, A.V. Issledovaniye protsessa vzaimodeystviya remney so shkivami v l'nouborochnoy mashine / A.V. Vinogradov // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. - 2012. - № 6. - S. 6
11. Optimizatsiya rezhimov raboty terebil'nogo apparata kombayna dlya uborki tekhnicheskikh kul'tur / A. V. Vinogradov, A. S. Firsov, A. V. Kudryavtsev i dr. // *Tekhnicheskiye kul'tury*. - Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal. – 2022. – T. 2, № 4(6). – S. 25-33.
12. Vinogradov, A.V. Vliyaniyeskorostnogorezhimavapparatakhspredol'nymiruch'yaminapokazateliterebreniya l'na / M.M. Kovalov, A. V. Vinogradov // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. – 2012. – № 5. – S. 30-33.
13. Vinogradov, A.V. Analiz skhem rabochikh organov periodicheskogo deystviya dlya mekhanizirovannoy uborki l'na / M.M. Kovalov, A. V. Vinogradov // *Sbornik nauchnykh trudov «Nauchnoye obespecheniye proizvodstva priyadil'nykh kul'tur: sostoyaniye, problemy i perspektivy»*. – Tver'. – TGU. – 2018. – S. 224-229.
14. Rezul'taty optimizatsii parametrov i rezhimov raboty l'noterebil'nogo apparata / A. V. Vinogradov, R. A. Rostovtsev, G. A. Perov, D. A. Shishin // *Tsifrovizatsiya v APK: tekhnologicheskkiye resursy, novyye vozmozhnosti i vyzovy vremeni* : Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tver', 11–13 fevralya 2020 goda. – Tver': Tverskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya, 2020. – S. 234-237. – EDN RQCLXF.

Информация об авторах

Фирсов Антон Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологических транспортных машин и комплексов, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», sevenrom777@yandex.ru

Виноградов Артем Викторович, ст. препода. кафедры ремонта машин и эксплуатации машинно-тракторного парка, ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», arvinogradov@tvgsa.ru

Author Information

Firsov Anton S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Transport Vehicles and Complexes, Tver State Agricultural Academy, sevenrom777@yandex.ru

Vinogradov Artem V., Senior Lecturer at the Department of Machine Repair and Operation of the Machine and Tractor Fleet, Tver State Agricultural Academy, arvinogradov@tvgsa.ru

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 16.05.2025; approved after reviewing 04.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГТУ, 2025, т.17, № 2, с. 167-173
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, № 2, pp. 167-173

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 628.511.633.85
DOI: 10.36508/RSATU.2025.21.49.023

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ КОМПОНЕНТОВ
СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ**

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием в сфере научной деятельности в рамках базовой части (фундаментальная наука) по научному проекту № FRRS-2023-0023 «Разработка технологии, экспериментального оборудования технологической линии глубокой переработки семян клещевины в касторовое масло»

Андрей Борисович Чебанов¹✉, Николай Иванович Стручаев², Светлана Викторовна Адамова³, Дмитрий Александрович Милько⁴

^{1,2,3,4}. ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», г. Мелитополь, Россия

¹chebanov-ab@yandex.ru

²takaytokey@mail.ru

³adamova164@yandex.com

⁴milkodmitry@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. Обрушивание семян клещевины в технологическом процессе переработки является важнейшей технологической операцией, которая необходима для дальнейшего отделения лузги от ядра. В результате выполнения этих двух операций качество касторового масла будет значительно выше, что позволяет использовать конечный продукт во многих отраслях промышленности, в том числе и медицинской. Эффективными методами обрушивания семян клещевины являются электрофизические способы воздействия за счет электромагнитного поля сверхвысоких частот. Однако, чтобы использовать эти методы, необходимо предварительно изучить электрофизические свойства семян клещевины, в частности, её компонентов – ядра и лузги.

Методология. Полученные данные исследований электрофизических свойств, а именно - относительной диэлектрической проницаемости и удельного объемного сопротивления компонентов клещевины в диапазоне частот от 100 Гц до 100 МГц не дают представления о величине тангенса угла диэлектрических потерь в СВЧ-диапазоне. Для решения поставленной задачи разработана отдельная методика определения тангенса угла диэлектрических потерь и выполнены соответствующие исследования.

Результаты. Установлено, что напряженность электрического поля практически не зависит от материала компонента при больших его объемах. Выведены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для ядра и лузги семян клещевины при частоте $f=2,4$ ГГц, температуре лузги и ядра семян клещевины 50-60° С и в установленном диапазоне влажностей исследуемого материала.

Заключение. Полученные данные позволяют в первом приближении установить затраты энергии с учетом влажности исследуемого материала и, в последующем, рассчитать мощность экспериментальной установки по обрушиванию семян клещевины в поле СВЧ с учетом её продуктивности.

Ключевые слова: электрофизические свойства, клещевина, операция обрушивания, переработка семян клещевины, напряженность электрического поля, тангенс угла диэлектрических потерь, ядро, лузга, компоненты семян

Для цитирования: Чебанов А.Б., Стручаев Н.И., Адамова С.В., Милько Д.А. Определение тангенса угла диэлектрических потерь компонентов семян клещевины // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С.167-173 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.49.023>



DETERMINATION OF THE DISSIPATION TANGENT OF DIELECTRIC LOSS COMPONENTS OF CASTOR SEEDS

Andrey B. Chebanov¹✉, Nikolay I. Struchaev², Svetlana V. Adamova³, Dmitry A. Milko⁴^{1,2,3,4}. Melitopol State University, Melitopol, Russia¹ chebanov-ab@yandex.ru² takaytokey@mail.ru³ adamova164@yandex.com⁴ milkodmitry@gmail.com**Abstract.**

Problem and purpose. The collapse of castor oil seeds in the processing process is the most important technological operation that is necessary for the further separation of the husks from the core. As a result of these two operations, the quality of castor oil will be significantly higher, which allows the final product to be used in many industries, including medical. Effective methods of collapsing castor oil seeds are electrophysical methods of exposure due to the ultrahigh frequency electromagnetic field. However, in order to use these methods, it is necessary to first study the electrophysical properties of castor seeds, in particular its components - nuclei and husks.

Methodology. The obtained data of studies of electrophysical properties, namely, relative dielectric constant and specific volumetric resistance of castor bean components in the frequency range from 100 Hz to 100 MHz, do not give an idea of the value of the tangent of the dielectric loss angle in the microwave range. To solve this problem, a separate method for determining the tangent of the dielectric loss angle has been developed and the corresponding studies have been performed.

Results. It has been established that the strength of the electric field practically does not depend on the material of the component with its large volumes. Relationships of dielectric loss angle tangent for the nucleus and husks of castor oil seeds at frequency $f = 2.4$ GHz, temperature of husks and seeds of castor oil seeds 50... 60 °C and within the established humidity range of the test material are derived.

Conclusion. The obtained data make it possible, in a first approximation, to establish energy consumption taking into account the humidity of the material under study and, subsequently, to calculate the power of an experimental installation for collapsing castor oil seeds in a microwave field, taking into account its productivity.

Key words: electrophysical properties, castor oil, collapse operation, castor oil seed processing, electric field strength, dielectric loss tangent, core, husk, seed components

For citation: Chebanov A.B., Struchaev N.I., Adamova S.V., Milko D.A. Determination of the dissipation tangent of dielectric loss components of castor seeds // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025, Vol. 17, No. 2, P.167-173 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.21.49.023>

Введение

Обрушивание семян масличных культур, в том числе и клещевины, в технологическом процессе переработки семян клещевины является важнейшей технологической операцией, которая необходима для дальнейшего отделения лузги от ядра. В результате выполнения этих двух операций качество касторового масла будет значительно выше (обеспечивается низкая лузжистость, снижается кислотное число касторового масла, снижается содержание в жмыхе клетчатки, рицина и безазотистых экстрактивных веществ, повышается кормовая ценность жмыха и т.д.). Эффективными методами обрушивания семян клещевины являются электрофизические способы воздействия за счет электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ) [12]. Однако, чтобы использовать эти методы, необходимо предварительно изучить электрофизические свойства семян клещевины [15], в частности, её компонентов, ядра и лузги. Такие исследования частично были проведены в [13, 14], где установлены относительная диэлектрическая

проницаемость и удельное объемное сопротивление ядра и лузги клещевины. Однако полученные данные не дают представления о величине тангенса угла диэлектрических потерь в СВЧ-диапазоне, который зависит от частоты изменений электромагнитного поля [8, 10]. Поэтому установление значений тангенса угла диэлектрических потерь при частоте 2,4 ГГц с учетом проведенных ранее исследований является актуальной задачей.

Материалы и методы исследования

При построении методики экспериментальных исследований по определению тангенса угла диэлектрических потерь лузги и ядра семян клещевины использовались общеизвестные формулы (1-3).

Количество теплоты, выделившееся в исследуемом материале, определим по формуле [7]:

$$Q = m \cdot C \cdot (t_k - t_n), \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, Дж;

m – масса образца, кг;



C – теплоемкость исследуемого материала, Дж/кг·°С;

t_k, t_n – соответственно, конечная и начальная температуры нагрева исследуемого материала, °С.

Среднюю мощность нагрева P определим по формуле [7]:

$$P = \frac{Q}{\tau} = \frac{m \cdot C \cdot (t_k - t_n)}{\tau} \quad (2)$$

где τ – время, в течение которого происходит нагрев исследуемого материала, с.

Удельная мощность, выделяющаяся в единице объема диэлектрика, определяется по формуле [8]:

$$P_y = 55,8 \cdot 10^{-12} \cdot E^2 \cdot tg\delta \cdot \varepsilon \cdot f, \quad (3)$$

где E – напряженность электрического поля В/м;

$tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость;

f – частота сети, Гц.

Мощность, которая выделяется в диэлектрике, определится по формуле:

$$P = P_y \cdot V, \quad (4)$$

где V – объем исследуемого материала, м³.

Приравняв формулы (2) и (4), определим тангенс угла диэлектрических потерь:

$$tg\delta = \frac{m \cdot C \cdot (t_k - t_n)}{55,8 \cdot 10^{-12} E^2 \cdot \varepsilon \cdot V \cdot f \cdot \tau}, \quad (5)$$

Анализ составляющих формулы (5) при определении тангенса угла диэлектрических потерь лузги и семян клещевины показал отсутствие данных по напряженности электрического поля E , В/м. Для определения напряженности электрического поля для ядра и лузги семян клещевины при частоте $f=2,4$ ГГц разработана отдельная методика по исследованию напряженностей электрического поля для жидкостей, по которым уже известен тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ при частоте $f=2,4$ ГГц. В качестве таких жидкостей выбраны вода и глицерин. Согласно [1] для воды: $\varepsilon=80$, $tg\delta=0,1$; для глицерина: $\varepsilon=41$, $tg\delta=0,14$. Основными характеристиками, подлежащими определению в экспериментальных исследованиях, являются:

- напряженность электрического поля исследуемых жидкостей (воды и глицерина);
- объем исследуемых жидкостей;
- масса исследуемых жидкостей;
- начальная и конечная температуры исследуемых жидкостей;
- время нагрева исследуемых жидкостей в поле СВЧ.

Для определения нужного объема жидкостей при исследованиях использовался лабораторный мерный цилиндр объемом 500 мл с ценой деления 1 мл. При определении времени нагрева использовали секундомер СИ-2А с погрешностью не

более 0,25 с. Начальная и конечная температуры определялись с помощью спиртового термометра с точностью $\pm 1^\circ$ С и максимальной шкалой 60° С. Массы исследуемых жидкостей определялись по формуле

$$m = V \cdot \rho, \quad (6)$$

где ρ – плотность исследуемых жидкостей, кг/м³; для воды $\rho=1000$ кг/м³, для глицерина $\rho=1260$ кг/м³ [3].

1. Теплоемкость исследуемых жидкостей принята с учетом [4]: для глицерина $C=2350$ Дж/кг·°С, для воды $C=4190$ Дж/кг·°С.

Методика проведения экспериментальных исследований по определению напряженности электрического поля для воды и глицерина заключалась в следующем.

1. С помощью лабораторного мерного цилиндра набирался нужный объем исследуемой жидкости. По формуле (6) определялась его масса.

2. Заданный объем исследуемой жидкости помещался в пластмассовую емкость. Затем устанавливался спиртовой термометр и фиксировалась начальная температура.

3. Пластмассовая емкость с исследуемой жидкостью помещалась в камеру СВЧ. Время нагрева каждой из исследуемых жидкостей устанавливалось (путем проведения предварительного поискового эксперимента [9]) таким образом, чтобы конечная температура при нагреве исследуемой жидкости не превосходила 60° С.

4. Производился СВЧ нагрев исследуемой жидкости в течение заданного времени, после чего в пластмассовую емкость устанавливался спиртовой термометр и фиксировалась конечная температура исследуемой жидкости.

5. Такие испытания для разного объема исследуемой жидкости производились в трехкратной повторности.

Напряженность электрического поля для исследуемых жидкостей определялась по формуле:

$$E = \sqrt{\frac{m \cdot C \cdot (t_k - t_n)}{55,8 \cdot 10^{-12} \cdot tg\delta \cdot f \cdot \tau}} \quad (7)$$

При проведении экспериментальных исследований по установлению тангенса угла диэлектрических потерь ядра и лузги использовали семена клещевины сорта Хортицкая 7 [6].

Определение начальной влажности компонентов клещевины производили по [2]. Количество воды в материале и влажность исследуемого материала определяли по [5, 13].

При определении тангенса угла диэлектрических потерь ядра и лузги семян клещевины теплоемкость C исследуемого материала вычисляли по закону аддитивности [11]

$$C = \frac{C_m \cdot M + C_n \cdot \Pi + C_k \cdot K + C_B \cdot B}{M + \Pi + K + B}, \quad (8)$$

где C_m – теплоемкость касторового масла, кДж/кг·°С;



C_n – теплоёмкость протеина, кДж/кг °С;
 C_k – теплоёмкость клетчатки, кДж/кг °С;
 C_B – теплоёмкость воды, кДж/кг °С;

М, П, К, В – соответственно содержание касторового масла, протеина, клетчатки и воды в исследу-

емом материале (лузге или ядре), % (табл. 1).

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ (формула 5) устанавливалась с учетом ранее проведенных исследований для ядра (рис. 1) и лузги (рис. 2) семян клещевины [13].

Таблица 1 – Содержание касторового масла, протеина, клетчатки, воды в лузге и ядре семян клещевины [11]

Компонент	Процентное содержание в лузге или ядре, %	
	Ядро	Лузга
Касторовое масло	68,5	1,65
Протеин	26,9	6,5
Клетчатка	0,9	82,59
Вода	3,65	9,26

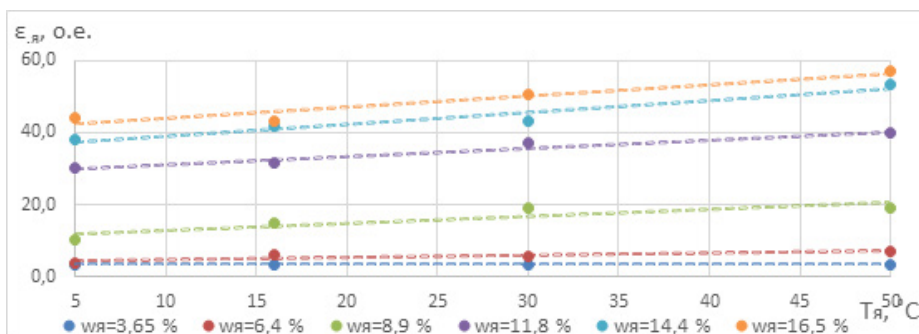


Рис. 1 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости ядра от температуры [13]
Fig. 1 – Dependence of the relative permittivity of the nucleus on temperature [13]

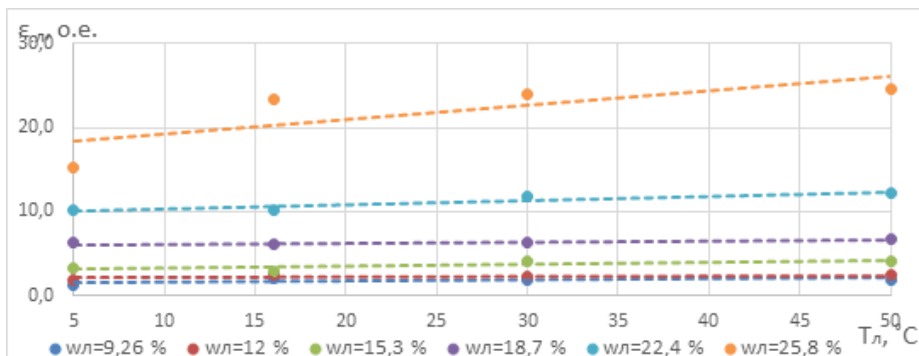


Рис. 2 – Зависимость общей диэлектрической проницаемости лузги от температуры [13]
Fig. 2 – Dependence of the total dielectric constant of the husk on temperature [13]

Исследуемый материал и воду, которая в него добавлялась с целью увеличения общей влажности, взвешивали на весах с максимальным весом 200 г и ценой деления 0,001 г. Объем исследуемой массы материала определяли путем размещения этого материала в мерном цилиндре и фиксации значения объема.

Количество требуемой воды для увеличения влажности до заданного значения исследуемого материала, определяли по [13]. Требуемое количество воды набирали шприцем, взвешивали на весах, добавляли в исследуемый материал и тщательно перемешивали. Предварительно, перед исследованиями, материал измельчался с целью равномерного впитывания влаги после добавления воды.

Методика проведения экспериментальных исследований по определению тангенса угла диэлектрических потерь для лузги и ядра семян клещевины заключалась в следующем.

1. Исследуемый материал (лузга или ядро) с

установленной начальной влажностью взвешивался на весах. С помощью мерного цилиндра фиксировался объем заданной массы.

2. Исследуемый материал помещался в пластмассовую емкость. С помощью спиртового термометра фиксировалась его начальная температура.

3. Пластмассовая емкость с исследуемым материалом помещалась в камеру СВЧ. Время нагрева устанавливалось таким образом, чтобы конечная температура после нагрева исследуемого материала в камере СВЧ достигала значений не больше 60° С.

4. Производился нагрев исследуемого материала в СВЧ-камере в течение заданного времени, после чего снова фиксировалась конечная температура исследуемого материала.

5. Необходимое количество воды до заданного значения увлажнения исследуемого материала с установленной начальной влажностью определялось по формуле (11). Это количество воды добавляли в исследуемый материал, тщательно пере-



мешивали, взвешивали на весах и фиксировали объем с помощью мерного цилиндра. Для каждой из установленных влажностей исследуемого материала повторяли пункты 2-4 данной методики.

6. Все исследования производились с трехкратной повторностью.

7. Тангенс угла диэлектрических потерь для лузги и ядра семян клещевины определяли по формуле (5).

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований рассчитаны показатели удельной мощности, мощности диэлектрических потерь и напряженности электрического поля для воды и глицерина при частоте $f=2,4$ ГГц с учетом разного объема исследуемых жидкостей (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты исследований средних показателей удельной мощности, мощности диэлектрических потерь и напряженности электрического поля воды и глицерина

Исследуемая жидкость	Измерено					Рассчитано			
	m, кг	V, л	t_n , °C	t_k , °C	τ , с	P, Вт	P_y , Вт/л	E, В/м	ΔE , %
Вода	0,05	0,05	19	44	15	349	9,98	2550	15,5
Глицерин	0,063	0,05	21	44	10	341	6,81	3020	
Вода	0,1	0,1	20	47	25	453	4,53	2050	13,1
Глицерин	0,126	0,1	26	47	15	415	4,15	2360	
Вода	0,2	0,2	23	48	30	697	3,48	1800	10
Глицерин	0,252	0,2	25	45	20	569	2,85	2000	
Вода	489	0,408	26	40	30	645	1,6	1210	6,9
Глицерин	408	0,408	18	33	40	536	1,3	1300	

В результате проведенных исследований установили, что напряженность электрического поля зависит от объема исследуемой жидкости (рис. 3), и с увеличением объема от $V=0,05$ л до $V=0,408$ л напряженность уменьшается: для воды – от $E=2550$ В/м до $E=1210$ В/м; для глицерина – от $E=3020$ В/м до $E=1300$ В/м.

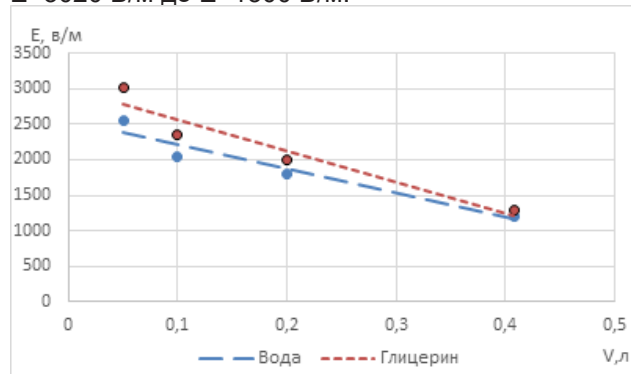


Рис. 3 – Зависимость напряженности электрического поля воды и глицерина от объема исследуемой жидкости

Fig. 3 – Dependence of the electric field strength of water and glycerin on the volume of the liquid being studied

Отклонение по напряженности электрического поля для заданного объема исследуемых жидкостей рассчитывали по формуле

$$\Delta E = \frac{E_r - E_b}{E_r} \cdot 100, \quad (9)$$

где E_r – напряженность электрического поля глицерина для заданного объема жидкости, В/м;

E_b – напряженность электрического поля воды для заданного объема жидкости, В/м.

Установлено, что напряженность электрического поля при одинаковых объемах глицерина и

воды мало отличается друг от друга, особенно при увеличении объема исследуемых жидкостей. Так, отклонение напряженности электрического поля при объеме исследуемых жидкостей $V=0,05$ л составляет $\Delta E=15,5$ %, а при $V=0,408$ л отклонение составляет $\Delta E=6,9$ %. Это дает возможность в первом приближении оценить тангенс угла диэлектрических потерь на частоте $f=2,4$ ГГц для ядра и лузги семян клещевины при известном значении относительной диэлектрической проницаемости, которая, как следует из литературных источников, мало зависит от частоты [13, 14].

В результате проведенных исследований с учетом данных, полученных в [13, 14] установлены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ для ядра (рис. 4) и лузги (рис. 5) семян клещевины при частоте $f=2,4$ ГГц и температуре лузги и ядра семян клещевины $50-60^\circ \text{C}$.

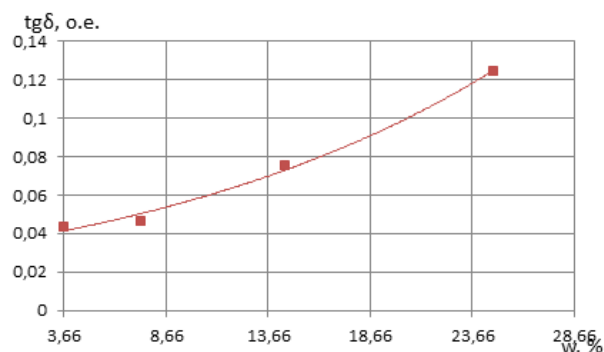


Рис. 4 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ ядра семян клещевины от его влажности при частоте $f=2,4$ ГГц

Fig. 4 – Dependence of the dielectric loss tangent $\tan \delta$ of the castor bean seed kernel on its moisture content at a frequency of $f=2,4$ GHz

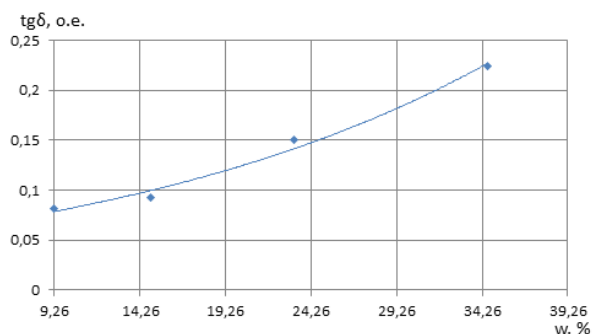


Рис. 5 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ лузги семян клещевины от её влажности при частоте $f=2,4$ ГГц

Fig. 5 – Dependence of the dielectric loss tangent $\text{tg}\delta$ of castor seed husks on its moisture content at a frequency of $f=2,4$ GHz

На основании зависимостей (рис. 5 и рис. 6) установлено, что при увеличении влажности ядра и лузги семян клещевины будет увеличиваться и тангенс угла диэлектрических потерь. При этом он достигает следующих значений: для ядра $\text{tg}\delta = 0,12$ при влажности $W_{\text{я}} = 25\%$; для лузги $\text{tg}\delta = 0,22$ при влажности $W_{\text{л}} = 35\%$. Диапазон влажностей лузги и ядра семян клещевины, а также их температура нагрева определены из тех соображений, что проведенный предварительный поисковый эксперимент [9] показал максимальное обрушивание семян в камере СВЧ в таких диапазонах влажности и температуры нагрева компонентов семян. Тангенс угла диэлектрических потерь лузги и ядра зависит от влажности исследуемого материала, а значит, с изменением влажности изменяется и удельная мощность, что дает возможность рассчитать в последующем необходимую мощность экспериментальной установки для обрушивания семян клещевины с заданной продуктивностью. Чем выше начальная влажность исследуемого материала перед обрушиванием и больше его объем, тем выше будут затраты энергии, что ведет к увеличению мощности экспериментальной установки по обрушиванию семян клещевины в поле СВЧ.

Заключение

На основании разработанной методики для определения тангенса угла диэлектрических потерь компонентов семян клещевины в СВЧ-диапазоне определены зависимости напряженности электрического поля от объема в различных жидкостях при частоте 2,4 ГГц. В качестве исследуемых жидкостей использованы вода и глицерин. Установлено, что напряженности электрического поля при одинаковых объемах различных жидкостей мало отличаются друг от друга, особенно при увеличении объема исследуемых жидкостей. Это позволяет говорить о том, что напряженность электрического поля практически не зависит от материала компонента при больших его объемах и полученную напряженность можно использовать при исследовании тангенса угла диэлектрических потерь компонентов семян клещевины.

Установлены зависимости тангенса угла диэлектрических потерь для ядра и лузги семян кле-

щевины при частоте $f=2,4$ ГГц, температуре лузги и ядра семян клещевины 50-60° С, которые позволяют в первом приближении установить затраты энергии с учетом влажности исследуемого материала и, в последующем, рассчитать мощность экспериментальной установки по обрушиванию семян клещевины в поле СВЧ с учетом её продуктивности.

Список источников

1. Ахадов А.Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей. - М.: Издательство стандартов, 1972 - 413 с.
2. ГОСТ 5947-68. Семена хлопчатника. Технические условия. - Введ. 1968-09-01. Москва: Стандартинформ, 1968. - 22 с.
3. Брусенцева Л. Ю., Кудряшова А.А. Краткий справочник физико-химических величин некоторых неорганических и органических соединений. - Самара: НОУ ВПО СМи «РЕАВИЗ», 2011 – 68 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Государственное издательство физико-математических литературы, 1963. - 707 с.
5. Дідур В.В., Чебанов А. Б., Асеев А. А., Шарій А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння ріцини. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С.278-286.
6. Жаркова Г. Обзор новых сортов та гибридов масличных культур. Пропозиція. 2001. № 12. С. 48-50.
7. Казначеевская Т. В. Расчет количества теплоты с применением эксергетического метода / Т. В. Казначеевская, Д. Ш. Фатхуллаева, В. А. Лебедев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 21 (155). С. 126-131. – URL: <https://moluch.ru/archive/155/43908/> (дата обращения: 15.04.2025).
8. Княжевская Г.С. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов. / Г.С. Княжевская, М.Г. Фирсова, Р.Ш. Килькеев. Под. ред. А.Н. Шамова. Изд. 2-е перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 64 с.
9. Підручник дослідника: навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. – Кіровоград, 2016. - 204 с.
10. Рез И.С., Поплавко Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.
11. Розробка технології, експериментально-го устаткування технологічної лінії по глибокій переробці насіння ріцини в касторову олію для виробництва мастил для сільськогосподарської техніки: звіт про НДР: / ТДАТА; кер. Дідур В. А. - Мелітополь, 2005. - 99 с.
12. Чебанов А. Б. Анализ методов обрушивания семян клещевины / А. Б. Чебанов, С. В. Адамова, Н. И. Стручаев, Ю. В. Чебанова, К. Н. Стручаев // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2024. № 39(202). С. 147-161.
13. Чебанов А. Б. Исследование электрических свойств компонентов семян клещевины / А. Б. Чебанов, Н. И. Стручаев, С. В. Адамова, Ю. В. Чебанова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического



го университета. 2024. т. 16, № 4. С. 167-175.

14. Чебанов А. Б. Обоснование параметров электрической схемы замещения компонентов семян клещевины / А. Б. Чебанов, Н. И. Стручаев, С. В. Адамова, Ю. В. Чебанова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной ака-

демии. 2024. № 4(76). С. 72-80.

15. Шмигель В. И., Козлов А. С. Удаление семян пшеницы из ячеистой поверхности при наложении электростатического поля // Послеуборочная обработка зерновых культур. ЧИМЭСХ. 1972. Вып. 69. С. 139-144.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Ahadov A. Ju. *Dijelektricheskie svojstva chistyh zhidkostej*. – M.: Izdatel'stvo standartov, 1972 - 413 s.
2. GOST 5947-68. *Semena hlochatnika. Tehnicheskie uslovija*. – Vved. 1968-09-01. Moskva: Standartinform, 1968. - 22 s.
3. Brusenceva L. Ju., Kudrjashova A. A. *Kratkij spravocnik fiziko-himicheskikh velichin nekotorykh neorganicheskikh i organicheskikh soedinenij*. – Samara: NOU VPO SMI «REAVIZ», 2011 – 68 s.
4. Vargaftik N. B. *Spravocnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej*. – M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskikh literatury, 1963. – 707 s.
5. Didur V. V., Chebanov A. B., Aseev A. A., Sharif A. V. *Termodinamichni harakteristiki elementiv nasinnja ricini*. // *Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodoeksploataciji Ukraini*. Serija: tehnika ta energetika APK. Kiiv. 2016. Vip. 254. S. 278-286. (in Ukr.).
6. Zharkova G. *Ogljad novih sortiv ta gibridiv olijnih kul'tur. Propozicija*. 2001. № 12. S. 48-50. (in Ukr.).
7. Kaznacheevskaja T. V. *Raschet kolichestva teploty s primeneniem jeksergeticheskogo metoda* / T. V. Kaznacheevskaja, D. Sh. Fathullaeva, V. A. Lebedev. – Tekst: neposredstvennyj // *Molodoj uchenyj*. 2017. № 21 (155). S. 126-131. – URL: <https://moluch.ru/archive/155/43908/> (data obrashhenija: 15.04.2025).
8. Knjazhevskaja G. S. *Vysokochastotnyj nagrev dijelektricheskikh materialov*. / G. S. Knjazhevskaja, M. G. Firsova, R. Sh. Kil'keev. Pod. red. A. N. Shamova. Izd. 2-e pererab. i dop. L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1989. – 64 s.
9. *Pidruchnik doslidnika: navchal'nij posibnik dlja studentiv agrotehniknih special'nostej* / O. M. Vasil'kovs'kij, S. M. Leshhenko, K. V. Vasil'kovs'ka, D. I. Petrenko. – Kirovograd, 2016. - 204 s. (in Ukr.).
10. Rez I. S., Poplavko Ju. M. *Dijelektрики. Osnovnye svojstva i primenenija v jelektronike*. M.: Radio i svjaz', 1989. – 288 s.
11. *Rozrobka tehnologii, eksperimental'nogo ustatkuvannja tehnologichnoi linii po glibokij pererobci nasinnja ricini v kastorovu oliju dlja vironictva mastil dlja sil'skogospodars'koj tehniki: zvit pro NDR: / TDATA; ker. Didur V. A. - Melitopol'*, 2005. - 99 s. (in Ukr.).
12. Chebanov A. B. *Analiz metodov obrushivanja semjan kleshheviny* / A. B. Chebanov, S. V. Adamova, N. I. Struchaev, Ju. V. Chebanova, K. N. Struchaev // *Izvestija sel'skohozejstvennoj nauki Tavridy*. 2024. № 39(202). S. 147-161.
13. Chebanov A. B. *Issledovanie jelektricheskikh svojstv komponentov semjan kleshheviny* / A. B. Chebanov, N. I. Struchaev, S. V. Adamova, Ju. V. Chebanova // *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta*. 2024. t. 16, № 4. S. 167-175.
14. Chebanov A. B. *Obosnovanie parametrov jelektricheskoy shemy zameshenija komponentov semjan kleshheviny* / A. B. Chebanov, N. I. Struchaev, S. V. Adamova, Ju. V. Chebanova // *Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozejstvennoj akademii*. 2024. № 4(76). S. 72-80.
15. Shmigel' V. I., Kozlov A. S. *Udalenie semjan pshenicy iz jacheistoj poverhnosti pri nalozhenii jelektrostaticheskogo polja* // *Posleuborochnaja obrabotka zernovykh kul'tur*. ChIMJeSH. 1972. Vyp. 69. S. 139-144.

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

Чебанов Андрей Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», chebanov-ab@yandex.ru

Стручаев Николай Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», takaytokey@mail.ru

Адамова Светлана Викторовна, ст. препод. кафедры электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», adamova164@yandex.ru

Милько Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной механики и робототехники, ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», milkodmitry@gmail.com

Author Information

Chebanov Andrey B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, chebanov-ab@yandex.ru

Struchaev Nikolay I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, takaytokey@mail.ru

Adamova Svetlana V., Senior Lecturer of the Department of Electrical Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University, adamova164@yandex.ru

Milko Dmitry A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mechanics and Robotics, Melitopol State University, milkodmitry@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 06.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 06.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.31

DOI: 10.36508/RSATU.2025.32.56.024

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КУЛЬТИВАТОРОВ ДЛЯ ОКУЧИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ
С ПАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Александр Владимирович Шемякин¹, Жанна Валерьевна Даниленко², Иван Алексеевич Успенский³, Михаил Юрьевич Костенко⁴, Наталья Михайловна Морозова⁵

^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

⁵ Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», Рязань, Россия

¹ university@rgatu.ru

² danilenko.zhanna@bk.ru

³ ivan.uspensckij@ya.ru

⁴ kostenko.mihail2016@yandex.ru

⁵ morozovanata97@gmail.com

Аннотация.

Проблема и цель. Движение почвенной массы по поверхности окучивающего рабочего органа культиватора и происходящие при этом процессы подобны процессам движения пласта почвы по отвалу плужного корпуса. Характер движения почвенных частиц при определенной скорости зависит от геометрической формы отвала. Целью настоящего исследования было проанализировать скорости и траектории частиц почвы при движении по рабочим поверхностям окучника.

Методология. При движении рабочего органа окучника в междурядьях картофеля стрельчатая лапа, закрепленная на стойке, подрезает слой почвы в середине междурядья. Слой почвы подается на корпус и перемещается на отвалы и закрылки. Для измельчения почвенных комков за корпусом установлены измельчающие устройства. Конструкция особенно эффективна при работе на тяжелосуглинистых почвах и участках, засоренных камнями, так как минимизирует забивание промежуточных элементов и улучшает качество обработки почвы.

Результаты. Рассмотрим движение почвы по рабочей поверхности окучника. На частицу почвы действуют сила тяжести, сила сопротивления и сила трения. Установлено, что при движении почвы по рабочей поверхности окучника скорость частицы почвы снижается более чем в 2 раза, с 2,5 м/с до 0,8 м/с. На участке крыла окучника почва движется по восходящей линии вплоть до ротора. Глубина погружения и диаметр пальца ротора в гребень определяют уплотнение стенок гребня. Теоретическими исследованиями установлено, что траектория движения пальца в почве определяется глубиной погружения пальца в гребень или величиной выступления пальцев ротора в прорези отвала. Наибольшее воздействие пальца на гребень происходит при выступании пальцев ротора в прорези отвала на $h=0,05$ м.

Заключение. Движение пальцев ротора описывается уравнением трохоиды, учитывая, что пальцы ротора проникают в гребень на определенную глубину. Таким образом, использование дополнительных рыхлителей на окучнике способствует улучшению процесса крошения почвы.

Ключевые слова: перемещение, коэффициент консистенции, вспашка, конфигурация рельефа, критические маршруты

Для цитирования: Шемякин А.В., Даниленко Ж.В., Успенский И.А., Костенко М.Ю., Морозова Н.М. Теоретические исследования культиваторов для окучивания картофеля с пассивными рабочими органами // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №.2, С. 174-181 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.32.56.024>

Original article

THEORETICAL STUDIES OF CULTIVATORS FOR HILLING POTATOES WITH PASSIVE
WORKING ORGANS

Alexander V. Shemyakin¹, Zhanna V. Danilenko², Ivan A. Uspensky³, Mikhail Yu. Kostenko⁴, Natalya M. Morozova⁵

© Шемякин А.В., Даниленко Ж.В., Успенский И.А., Костенко М.Ю., Морозова Н.М., 2025



^{1,2,3,4} Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

⁵Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Polytechnic University», Ryazan, Russia

¹ university@rgatu.ru

² danilenko.zhanna@bk.ru

³ ivan.uspensckij@ya.ru

⁴ kostenko.mihail2016@yandex.ru

⁵ morozovanata97@gmail.com

Abstract.

Problem and purpose. The movement of the soil mass along the surface of the hilling working element of the cultivator and the processes occurring in this case are similar to the processes of movement of the soil layer along the moldboard of the plow body. The nature of the movement of soil particles at a certain speed depends on the geometric shape of the moldboard. The objective of this study was to analyze the speeds and trajectories of soil particles when moving along the working surfaces of the hiller.

Methodology. When the working element of the hiller moves between the rows of potatoes, the arrow-shaped paw fixed on the stand cuts the soil layer in the middle of the row. The soil layer is fed to the body and moves to the moldboards and flaps. To crush the soil lumps, crushing devices are installed behind the body. The design is especially effective when working on heavy loamy soils and areas littered with stones, as it minimizes clogging of the gaps between the elements and improves the quality of soil cultivation.

Results. Let us consider the movement of soil along the working surface of the hiller. The soil particle is affected by gravity, resistance and friction. It has been established that when the soil moves along the working surface of the hiller, the speed of the soil particle decreases by more than 2 times, from 2.5 m/s to 0.8 m/s. On the hiller wing section, the soil moves along an ascending line up to the rotor. The depth of immersion and the diameter of the rotor finger in the ridge determine the compaction of the ridge walls. Theoretical studies have established that the trajectory of the finger in the soil is determined by the depth of immersion of the finger in the ridge or the amount of protrusion of the rotor fingers in the moldboard slot. The greatest impact of the finger on the ridge occurs when the rotor fingers protrude in the moldboard slot by $h = 0.05$ m.

Conclusion. The movement of the rotor fingers is described by the trochoid equation, taking into account that the rotor fingers penetrate the ridge to a certain depth. Thus, the use of additional rippers on the hiller helps to improve the soil crumbling process.

Key words: movement, consistency coefficient, plowing, terrain configuration, critical routes

For citation: Shemyakin A.V., Danilenko Zh.V., Uspensky I.A., Kostenko M.Yu., Morozova N.M. Theoretical studies of cultivators for hilling potatoes with passive working bodies // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P.174-181 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.32.56.024>

Введение

Движение почвенной массы по поверхности окучивающего рабочего органа культиватора и происходящие при этом процессы подобны процессам движения пласта почвы по отвалу плужного корпуса. Траектория движения отрезанного почвенного пласта и частиц по отвалу зависит от степени связности пласта и скорости движения окучивающего корпуса. Согласно теории Л.В. Гячева, процессы, происходящие при соответствующей скорости вспашки зависят от формы поверхности отвала, воздействия сил на процесс отрезания стружки, от разрушения подрезанного пласта, связанного со степенью связности частиц в пласте. От этого зависят предельные траектории частицы пласта. На траекторию движения пласта по поверхности отвала пласта влияет скорость движения окучника.

Окучник одновременно работает с пластом из рыхлой и твердой почвы. Но нижняя часть окучника работает только в нижнем плотном слое (рис. 1).

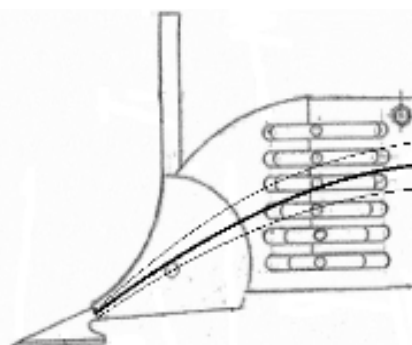


Рис. 1 – Относительные траектории частицы пласта к рабочей поверхности окучника в зависимости от поступательной скорости
Fig. 1 – Relative trajectories of a formation particle to the working surface of the hiller depending on the forward speed

При этом плотность почвы в междурядьях картофеля может, достигать значительных величин, связанных с уплотнением междурядий колёсами сельскохозяйственных машин.

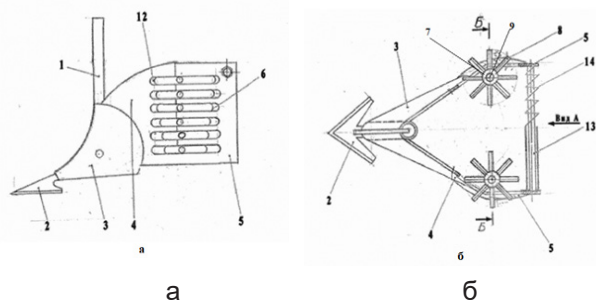
На практике, в целях улучшения крошения почвы окучником на раму культиватора перед окуч-



никами за колёсами трактора желательно устанавливать дополнительные рыхлители.

Материалы и методы исследования

Рабочий орган окучника (рисунки 1,2) присоединяется к грядиллю культиватора через специальный кронштейн. Конструкция особенно эффективна при работе на тяжелосуглинистых почвах и участках, засоренных камнями, так как минимизирует забивание промежутков между элементами и улучшает качество обработки почвы.



1 – криволинейная стойка, 2 – стрелчатая лапа, 3 – корпус, 4 – отвал, 5 – закрылки, 6 – измельчающее устройство, 7 – вращающиеся диски, 8 – палец, 9 – ось измельчающего устройства, 10 – верхняя часть опоры, 11 – нижняя часть опоры, 12 – прорезь, 13 – штанга, 14 – пружина

Рис. 2 – Схема рабочей секции культиватора окучника

1 – curved stance, 2 – pointed paw, 3 – body, 4 – blade, 5 – flaps, 6 – shredding device, 7 – rotating discs, 8 – finger, 9 – axis of the shredding device, 10 – upper part of the support, 11 – lower part of the support, 12 – slot, 13 – rod, 14 – spring

Fig. 2 – Scheme of the working section of the cultivator hiller

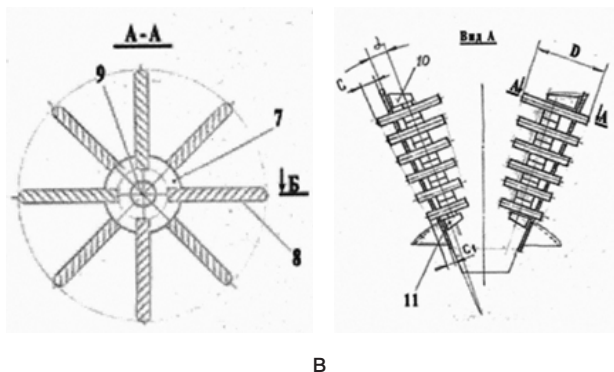


Рис. 3 – Схема роторов измельчителей культиватора-окучника

Fig. 3 – Schematic diagram of the rotors of the cultivator-ridger shredders

При движении рабочего органа окучника в междурядьях картофеля стрелчатая лапа 2, закрепленная на стойке 1, подрезает слой почвы в середине междурядья. Слой почвы подается на корпус 3 и перемещается на отвалы 4 и закрылки 5. Слой почвы измельчается корпусом 3, отвалами 4, закрылками 5 и отводится в стороны, образуя гребень. После воздействия отвалов 4 и закрылков 5 на почву, почвенные не разрушенные комки скатываются с боковых поверхностей гребней в междурядья. Для измельчения почвенных ком-

ков за корпусом 3 установлены измельчающие устройства 6. Пальцы 8, жестко закрепленные на дисках 7, воздействуют на боковую поверхность гребней и перемещаются по прорезям 12, вращающиеся диски 7, установленные на осях 9. В верхней части измельчающего устройства 6 пальцы 8, имеющие большую длину $L_{\max}$, выступают за наружную поверхность закрылков 5 и измельчают не только почвенные комки, а также активно рыхлят боковую поверхность гребней на глубину до 5 см.

В нижней части измельчающего устройства 6 пальцы 8, имеющие меньшую длину $L_{\min}$, измельчают почвенные комки и активно рыхлят боковую поверхность гребней на глубину до 2 см. Вращающиеся пальцы 8 измельчающего устройства 6 не только измельчают почвенные комки, активно рыхлят боковую поверхность гребней, а также вычесывают корни сорных растений.

В случае не прямолинейности расположения гребней картофеля закрылки 5 преодолевают сжатие пружин 14, размещенных на штанге 13 и копируют неровности боковых поверхностей гребней.

Результаты исследований и их обсуждение

В соответствии с агротребованиями к культиваторам для окучивания картофеля, они должны делать почву рыхлой, ровным слоем почвы толщиной порядка 5-8 см укладывать его на весь гребень с приваливанием почвы его к стеблям картофеля. Высота гребней при окучивании должна составлять до 25 см. Из рисунка 4 виден поперечный профиль грядки, получающийся при окучивании. При этом для образования верхней части грядки расходуется почва из смежных междурядий [1].

Допустим, что почва поднимается из междурядья, тогда увеличение поперечного сечения гребня при окучивании обозначим S_1 , а изменение поперечного сечения борозды S_2 .

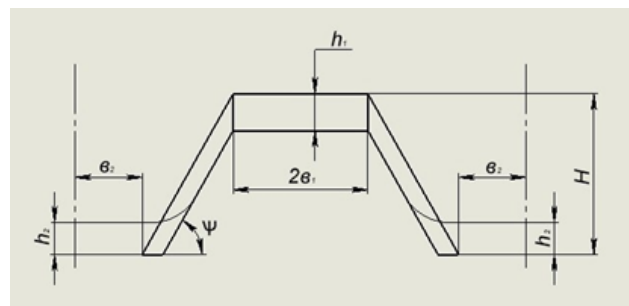


Рис. 4 – Изменение поперечного профиля, после прохода окучника

Fig. 4 – Change in the cross-section after the passage of the hiller

Изменение поперечного сечения гребня при окучивании S_1 определится выражением (без учёта рыхления почвы):

$$S_1 = 2b_1 h_1 + 2h_1 H \tan \psi = 2h_1 (b_1 + H \sin \tan \psi), \quad (1)$$

где h_1 – увеличение высоты гребня, м;

H – высота гребня после прохода окучника, м;



$2h_1$ – ширина вершины гребня, м;
 ψ – угол естественного откоса гребня.

Изменение поперечного сечения борозды, которая выбирается окучником и используется на образование рыхлой насыпной верхней части грядки определяется как:

$$S_2 = 2b_2h_2 + h_2h_2 \tan \psi = h_2(2b_2 + h_2 \tan \psi) \quad (2)$$

где $2b_2$ – ширина борозды после прохода окучника, м;

h_2 – глубина борозды после прохода окучника, м.

Приравняв площади изменения поперечного сечения гребня и борозды, получим выражение

$$2h_1(b_1 + H \tan \psi) = h_2(2b_2 + \frac{1}{2}h_2 \tan \psi) \quad (3)$$

Тогда высоту гребня можно определить из выражения (3)

$$H = \frac{h_2(2b_2 + h_2 \tan \psi) - 2h_1b_1}{2h_1 \tan \psi} \quad (4)$$

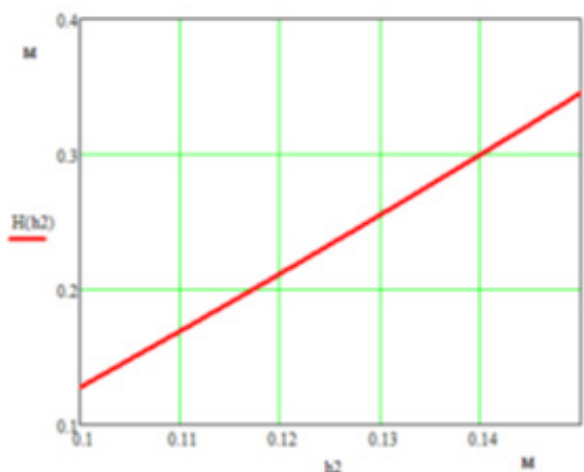


Рис. 5 – Изменение высоты гребня от глубины борозды после прохода окучника

Fig. 5 – Change in ridge height from furrow depth after the passage of the hiller

Анализируя поперечный профиль грядки (рис. 4), можно отметить, что если высота грядки после картофелесажалки составляет $H_1 = 15$ см, $b_1 = 8$ см, $h_1 = 6$ см, то глубина хода окучника должна составлять 10-12 см.

Крылья окучника являются поверхностями, которые формируют гребень и направляют почвенные потоки на надземную часть растений картофеля. При этом движение почвы идет по крылу окучника с учетом силы сопротивления движению, силы трения и силы тяжести (рис. 6).

Рассмотрим движение почвы по рабочей поверхности окучника. На частицу почвы действуют сила тяжести, сила сопротивления и сила трения. Введем следующие допущения:

1. Окучник движется с постоянной скоростью.
2. Кривизна рабочих поверхностей окучника на пути частицы почвы незначительна

и ею пренебрегаем.

3. Рабочие поверхности окучника представляют собой клин с углом атаки γ и углом наклона к горизонту α [2].

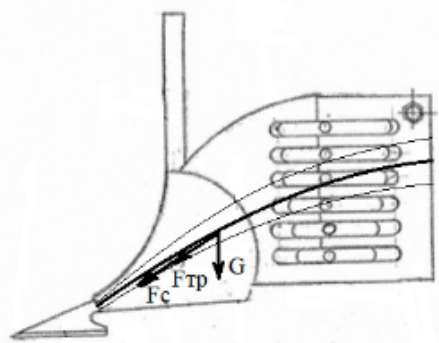


Рис. 6 – Расчетная схема исследования движения почвы по поверхности окучника
 Fig. 6 – Calculation scheme for studying the movement of soil on the surface of the hiller

Уравнение движения частицы почвы на рабочей поверхности окучника, массой m_n запишем в виде

$$\begin{cases} m_n \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{трx} - F_{cx} \\ m_n \frac{d^2y}{dt^2} = -m_n g \sin(\alpha) - F_{тры} - F_{cy} \end{cases} \quad (5)$$

где m_n – масса частицы почвы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

α – угол наклона поверхности окучника к горизонту;

F_c – сила сопротивления движению частицы почвы, Н;

$F_{тр}$ – сила трения частицы почвы о поверхность окучника, Н.

Величина силы сопротивления движению частицы почвы определяется выражением

$$F_c = \mu \frac{ds}{dt} = \mu V \quad (6)$$

где μ – коэффициент сопротивления движению, Н*с/м;

s – путь, пройденный частицей почвы, м;

V – скорость частицы почвы на поверхности окучника, м/с.

Сила трения частицы почвы о поверхность окучника определится выражением

$$F_{тр} = f m_n g \cos(\alpha) \quad (7)$$

где f – коэффициент трения частицы почвы о поверхность окучника.

Запишем выражение (5) с учетом значений входящих в него величин (6) и (7)

$$\begin{cases} m_n \frac{d^2x}{dt^2} = -f m_n g \cos \alpha \cos \beta - \mu V_x \\ m_n \frac{d^2y}{dt^2} = -m_n g \sin \alpha - f m_n g \cos \alpha \sin \beta - \mu V_y \end{cases} \quad (8)$$

где β – угол подъема частицы почвы по поверхности окучника.

Перепишем выражение (8) в следующем виде

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{-f g \cos \alpha \cos \beta - \frac{\mu}{m_n} V_x} = dt \\ \frac{dV_y}{-g \sin \alpha - f g \cos \alpha \sin \beta - \frac{\mu}{m_n} V_y} = dt \end{cases} \quad (9)$$

Проинтегрировав выражение (9), получим



$$\begin{cases} -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_x \right) = t + C_1 \\ -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_y \right) = t + C_2 \end{cases} \quad (10)$$

Для определения постоянных интегрирования подставим в выражение (10) начальные условия: при $t=0$ начальная скорость почвы (скорость орудника) $V_x=V_{0x}$; $V_y=V_{0y}$.

$$\begin{cases} C_1 = -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x} \right) \\ C_2 = -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y} \right) \end{cases} \quad (11)$$

С учетом постоянных интегрирования выражение (10) имеет вид

$$\begin{cases} -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(\frac{fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_x}{fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x}} \right) = t \\ -\frac{m_n}{\mu} \ln \left(\frac{g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_y}{g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y}} \right) = t \end{cases} \quad (12)$$

Потенцируя выражение (12), получим

$$\begin{cases} \frac{fg \cos \alpha \cos \beta + V_x}{fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x}} = e^{-\frac{\mu}{m_n} t} \\ \frac{g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + V_y}{g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y}} = e^{-\frac{\mu}{m_n} t} \end{cases} \quad (13)$$

Выразим из выражения (13) величину скорости

$$\begin{cases} V_x = \frac{-fg \cos \alpha \cos \beta}{\frac{\mu}{m_n}} + \frac{(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x})}{\frac{\mu}{m_n}} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} \\ V_y = \frac{-g \sin \alpha - fg \cos \alpha \sin \beta}{\frac{\mu}{m_n}} + \frac{(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y})}{\frac{\mu}{m_n}} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} \end{cases} \quad (14)$$

Согласно выражению (14) рассчитаем в программе Mathcad скорость частицы почвы при движении по поверхности орудника

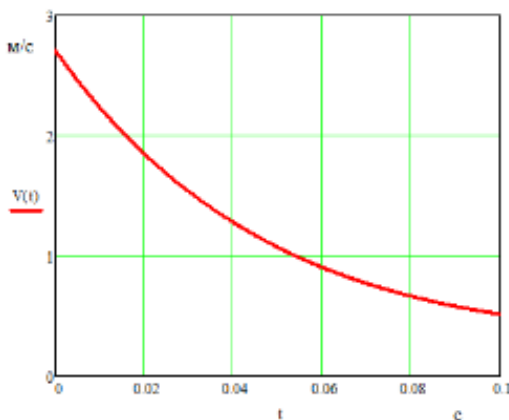


Рис. 7 – Изменение скорости частицы почвы при движении по поверхности орудника
Fig. 7 – Change in the speed of a soil particle when moving along the surface of a hiller

Анализ зависимости показал, что при движении почвы по рабочей поверхности орудника скорость частицы почвы снижается более чем в 2 раза, с 2,5 м/с до 0,8 м/с. В то же время при соприкосно-

вании с гребнем скорость частиц отлична от нуля, что может приводить к осыпанию гребня из-за недостаточной прочности насыпанной почвы [3].

Для определения закона движения частицы почвы преобразуем выражения (14)

$$\begin{cases} dx = \frac{-fg \cos \alpha \cos \beta}{\frac{\mu}{m_n}} dt + \frac{(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x})}{\frac{\mu}{m_n}} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} dt \\ dy = \frac{-g \sin \alpha - fg \cos \alpha \sin \beta}{\frac{\mu}{m_n}} dt + \frac{(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y})}{\frac{\mu}{m_n}} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} dt \end{cases} \quad (15)$$

Проинтегрировав, имеем

$$\begin{cases} x = \frac{-fg \cos \alpha \cos \beta}{\frac{\mu}{m_n}} t + \frac{(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} + C_3 \\ y = \frac{-g \sin \alpha - fg \cos \alpha \sin \beta}{\frac{\mu}{m_n}} t + \frac{(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \cdot e^{-\frac{\mu}{m_n} t} + C_4 \end{cases} \quad (16)$$

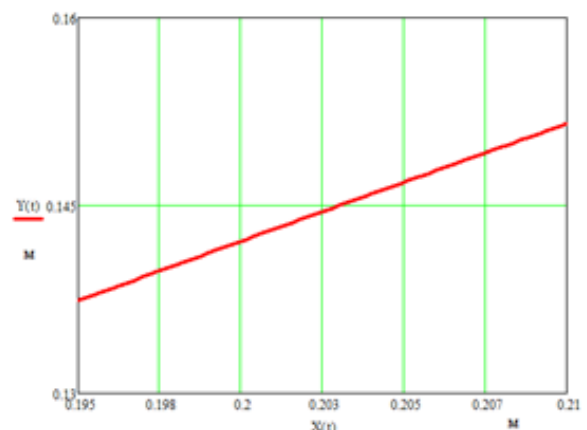
Для определения постоянных интегрирования подставим в выражение (16) начальные условия: при $t=0$ начальная скорость почвы (скорость орудника) $V_x=V_{0x}$; $V_y=V_{0y}$.

$$\begin{cases} C_3 = \frac{(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \\ C_4 = \frac{(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \end{cases} \quad (17)$$

Подставим постоянные интегрирования в выражение (16)

$$\begin{cases} x = \frac{-fg \cos \alpha \cos \beta}{\frac{\mu}{m_n}} t + \frac{(fg \cos \alpha \cos \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0x})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \cdot (1 + e^{-\frac{\mu}{m_n} t}) \\ y = \frac{-g \sin \alpha - fg \cos \alpha \sin \beta}{\frac{\mu}{m_n}} t + \frac{(g \sin \alpha + fg \cos \alpha \sin \beta + \frac{\mu}{m_n} V_{0y})}{(\frac{\mu}{m_n})^2} \cdot (1 + e^{-\frac{\mu}{m_n} t}) \end{cases} \quad (18)$$

Согласно выражению (18) рассчитаем в программе Mathcad траекторию частицы почвы при движении по поверхности орудника



по поверхности орудника
Fig. 8 – Trajectory of soil movement along the surface of the hiller

Анализ рисунка показал, что на участке крыла орудника почва движется по восходящей линии вплоть до ротора. Рассмотрим движение пальцев ротора (рис. 9).

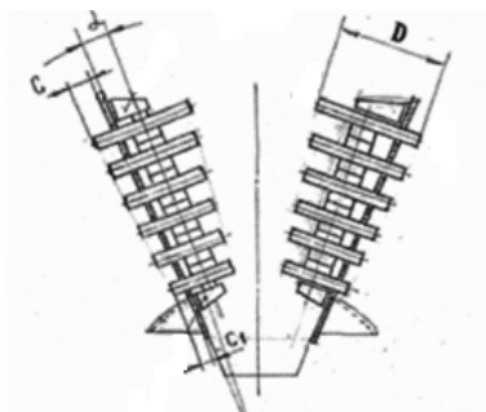


Рис. 9 – Расчетная схема к определению характера движения роторов измельчителей культиватора [4,5]

Fig. 9 – Calculation scheme for determining the nature of the movement of the rotors of the cultivator-ridger shredders

При движении окучника ротор измельчителя соприкасается с нижней уплотненной частью гребня, получая вращение. Угловая скорость ротора определится выражением

$$\omega = \frac{\lambda \cdot V}{R_{\min}} \quad (19)$$

где ω – угловая скорость ротора, рад/с;

V – скорость движения окучника, м/с;

λ – коэффициент проскальзывания ротора;

$R_{\min}$ – минимальный радиус ротора при соприкосновении с гребнем, м.

Движение пальцев ротора описывается уравнением трохоиды; учитывая, что пальцы ротора проникают в гребень на определенную глубину, уравнение трохоиды будет выглядеть следующим образом

$$\begin{cases} x = R \cdot \varphi - h \cdot \sin \varphi \\ y = R - h \cos \varphi \end{cases} \quad (20)$$

где R – текущий радиус ротора, м;

φ – угол поворота ротора, рад;

h – глубина погружения пальца ротора в гребень, м.

С учетом зависимости при постоянной угловой скорости $\varphi = \omega \cdot t$, имеем

$$\begin{cases} x = R \cdot \frac{\lambda \cdot V}{R_{\min}} \cdot t - h \cdot \sin\left(\frac{\lambda \cdot V}{R_{\min}} \cdot t\right) \\ y = R - h \cos\left(\frac{\lambda \cdot V}{R_{\min}} \cdot t\right) \end{cases} \quad (21)$$

Глубина погружения и диаметр пальца ротора в гребень определяют уплотнение стенок гребня. Согласно выражению (21) рассчитаем в программе Mathcad траекторию пальца ротора по поверхности гребня.

Анализ рисунка (10) показал, что траектория движения пальца в почве определяется глубиной погружения пальца в гребень или величиной выступания пальцев ротора в прорези отвала. Наибольшее воздействие пальца на гребень происходит при выступании пальцев ротора в прорези отвала на $h=0,05$ м. При недостаточной угловой

скорости ротора возможно сбрасывание почвы с гребня на дно борозды. Для необходимого контактного усилия пальца между роторами предусмотрена пружина.

Пальцы при углублении в гребень дополнительно уплотняют рыхлую насыпанную почву [6,7]. Учитывая, что вращение ротора обеспечивается за счет взаимодействия нижней его части с гребнем, происходит дополнительное воздействие пальцев ротора на почву. При погружении пальца ротора в гребень зона уплотнения представляет конус, в основании которого находится эллипсоид. Глубина зоны уплотнения почвы в гребне определяется диаметром пальца

$$h_{\text{упл}} = k \cdot d \quad (22)$$

где h – глубина зоны уплотнения гребня пальцем ротора в, м;

k – коэффициент уплотнения почвы, (для рыхлых суглинков $k=1,2$);

d – диаметр пальца, м.

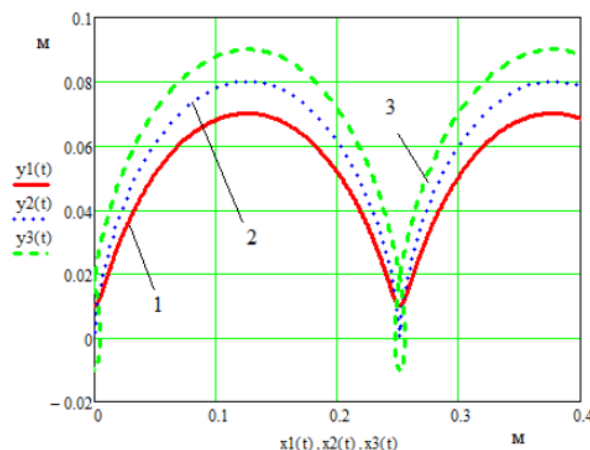
$$r_{\text{упл}} = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \sigma}} \quad (23)$$

где $r_{\text{упл}}$ – радиус зоны уплотнения гребня пальцем ротора в, м;

F – нагрузка на палец, Н;

σ – допустимое напряжение сжатия почвы, Па.

В процессе движения окучивающего культиватора по рядкам картофеля секции культиватора постоянно подвергаются воздействию различных сил по величине и направлению, что связано с микрорельефом поля, плотностью сложения обрабатываемого почвенного пласта и ряда других его физико-механических показателей [8,9,10].



1 – глубина погружения пальца в гребень $h=0,03$ м;

2 – глубина погружения пальца в гребень $h=0,04$ м;

3 – глубина погружения пальца в гребень $h=0,05$ м

Рис. 10 – Траектория движения пальца ротора по боковой поверхности гребня

1 – depth of finger immersion in the ridge $h=0.03$ m;

2 – depth of finger immersion in the ridge $h=0.04$ m;

3 – depth of finger immersion in the ridge $h=0.05$ m

Fig. 10 – Trajectory of the rotor finger movement along the side surface of the ridge



Заклучение

1. В соответствии с агротребованиями к культиваторам для окучивания картофеля, они должны делать почву рыхлой, укладывать ровный слой почвы толщиной порядка 5-8 см на весь гребень с приваливанием почвы к стеблям картофеля. Высота гребней при окучивании должна составлять до 25 см.

2. Анализируя поперечный профиль грядки, установили, что высота грядки после картофеле-сажалки составляет $H_1 = 15$ см, $b_1 = 8$ см, $h_1 = 6$ см, поэтому для формирования гребня высотой $H = 25$ см глубина хода окучника должна составлять 10-12 см.

3. Теоретическими исследованиями установлено, что при движении почвы по рабочей поверхности окучника скорость частицы почвы снижается более чем в 2 раза, с 2,5 м/с до 0,8 м/с. В то же время при соприкосновении с гребнем скорость частиц отлична от нуля, что может приводить к осыпанию гребня из-за недостаточной прочности насыпанной почвы.

4. Движение пальцев ротора описывается уравнением трохоиды, учитывая, что пальцы ротора проникают в гребень на определенную глубину. Теоретическими исследованиями установлено, что траектория движения пальца в почве определяется глубиной погружения пальца в гребень или величиной выступания пальцев ротора в прорези отвала. Наибольшее воздействие пальца на гребень происходит при выступании пальцев ротора в прорези отвала на $h = 0,05$ м. Для необходимого контактного усилия пальца на гребень, для исключения осыпания почвы между роторами предусмотрена пружина.

Список источников

1. Лачуга Ю.Ф. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 г. /Ю. Ф. Лачуга и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.
2. Ревякин, Е. Л. Технологические требования к новым техническим средствам в растениеводстве /Е. Л. Ревякин, Н. М. Антышев//М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 60 с.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

3. Синеоков Г.Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов/ - М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

4. Ильичёв В.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров агрегата для основной и поверхностной обработки почвы. /Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. // Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. – Князино: НГИЭУ, 2020. – 168 с.

5. Колесников Н.С. Теоретическое обоснование схемы конструкции культиватора-гребнеобразователя / Н.С. Колесников, С.А. Долгачёв //Сборник трудов конференции. – Саранск, Мордовский ГУ, 2016. – С. 125-132.

6. Пяткин А.А. Устойчивость движения комбинированного сошника с параллелограммной навеской и полозьями в вертикальной плоскости /А.А. Пяткин, Н.П. Ларюшин, А.В. Поликанов. //Вестник – Пенза, ПГСХА, №4(21). – С.56-60.

7. Старовойтова О.А. Физико - механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах /О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Махонина, С.М. Духанина //Земледелие 2018.- №5. –С.16-20.

8. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях / Н. В. Бышов, С. Н. Бoryчев, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2012. – № 4(16). – С. 87-90.

9. Перспективные направления развития сепарующих устройств картофелеуборочных машин для работы в неблагоприятных условиях эксплуатации / А. А. Голиков, И. А. Успенский, Г. К. Рембалович [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 6. – С. 7-9.

10. Рембалович, Г. К. Сравнительная оценка эксплуатационной надежности картофелекопателей / Г. К. Рембалович, С. Н. Бoryчев, И. А. Успенский // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 2. – С. 46-47.

References

1. Lachuga Yu.F. *Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo hozyajstva Rossii na period do 2020 g.* /Yu. F. Lachuga i dr. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2009. – 80 s.
2. Revyakin, E. L. *Tekhnologicheskie trebovaniya k novym tekhnicheskim sredstvam v rastenievodstve* /E. L. Revyakin, N. M. Antyshev//M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2008. – 60 s.
3. Sineokov G.N. *Teoriya i raschyot pochvoobrabatyvayushchih mashin.* /G.N. Sineokov, I.M. Panov/ - M.: Mashinostroenie, 1977. – 328 s.
4. Il'ichyov V.V. *Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov agregata dlya osnovnoj i poverhnostnoj obrabotki pochvy.* /Dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. // Nizhegorodskij gosudarstvennyj inzhenerno-ekonomicheskij universitet. – Knyazino: NGIEU, 2020. – 168 s.
5. Kolesnikov N.S. *Teoreticheskoe obosnovanie skhemy konstrukcii kul'tivatora-grebneobrazovatelya* / N.S. Kolesnikov, S.A. Dolgachyov //Sbornik trudov konferencii. – Saransk, Mordovskij GU, 2016. – S. 125-132.
6. Pyatkin A.A. *Ustojchivost' dvizheniya kombinirovannogo soshnika s parallelogramnoj naveskoj i poloz'yami v vertikal'noj ploskosti* /A.A. Pyatkin, N.P. Laryushin, A.V. Polikanov. //Vestnik – Penza, PGSHA, №4(21). – S. 56-60.



7. Starovojtova O.A. Fiziko - mekhanicheskie parametry pochvy pri vyrashchivanii kartofelya na gryadah /O.A. Starovojtova, V.I Starovojtov, A.A. Mahonina, S.M. Duhanina //Zemledelie 2018.- №5. –S.16-20.

8. Technological and theoretical substantiation of the design parameters of secondary separation organs of potato harvesters for operation in harsh conditions / N. V. Byshov, S. N. Borychev, I. A. Uspensky [et al.] // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. – 2012. – № 4(16). – S. 87-90.

9. Promising directions for the development of separating devices of potato harvesters for operation in adverse operating conditions / A. A. Golikov, I. A. Uspensky, G. K. Rembalovich [et al.] // Machinery and equipment for rural areas. - 2014. – No. 6. – S. 7-9.

10. Rembalovich, G.K. Comparative assessment of operational reliability of potato diggers / G. K. Rembalovich, S.N. Borychev, I. A. Uspensky // Tractors and agricultural machinery. - 2010. – No. 2. – S. 46-47.

Contribution of the authors:

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

The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация об авторах

Шемякин Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», university@rgatu.ru

Даниленко Жанна Валерьевна, ст. препод., соискатель кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», danilenko.zhanna@bk.ru

Успенский Иван Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации транспорта, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева», ivan.uspenskiy@ya.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

Морозова Наталья Михайловна, к.т.н., доцент кафедры "Инженерный бизнес и менеджмент" Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский политехнический университет", morozovanata97@gmail.com

Author Information

Shemyakin Alexander V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, University@rgatu.ru

Danilenko Zhanna V., Senior Lecturer, PhD Candidate, Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, danilenko.zhanna@bk.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.uspenskiy@ya.ru

Kostenko Mikhail Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal and Machine Repair Technology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

Morozova Natalia M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Business and Management, Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Polytechnic University, morozovanata97@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.04.2025; одобрена после рецензирования 19.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 25.04.2025; approved after reviewing 19.05.2025; accepted for publication 10.06.2025.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 31.363.258/638.171
DOI: 10.36508/RSATU.2025.33.41.025

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШАЕМОСТИ ВОСКОВОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ

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. Современное пчеловодство существует в условиях нарастающих проблем, связанных с уменьшением численности пчел из-за изменения климата, болезней, бесконтрольного применения пестицидов. Применение устаревших технологий получения воска и переработки воскового сырья также негативно сказывается на состоянии отрасли, являющейся как поставщиком, так и основным потребителем данного продукта. Необходимость предварительной очистки воскового сырья перед перетопкой обусловлена свойством содержащихся в сотах примесей, таких как перга, экскременты и другие органические включения, связывать расплавленный воск, унося часть продукта в отходы. Целью исследования является изучение свойства пчелиных сотов разрушаться под действием нагрузок, которые испытывает данный материал при проведении очистки от загрязнений путем перемешивания в воде, определение зависимости процента разрушений от мощности и времени воздействия.

Методология. Для оценки разрушаемости очищаемого воскового сырья в процессе очистки был реализован двухфакторный эксперимент, в ходе которого варьировали значения факторов «мощность электрического привода» и «время перемешивания» и определяли их влияние на процент разрушения целых кусков чистых пчелиных сотов. Эксперимент проводили на специально изготовленной лабораторной установке.

Результаты. Получена модель, адекватно аппроксимирующая опытные данные и описывающая зависимость процента поврежденных сотов от потребляемой мощности электропривода мешалки и продолжительности воздействия. Определены условия, при которых восковое сырье получает минимальные и максимальные повреждения при перемешивании.

Заключение. Очистка воскового сырья перед перетопкой путем перемешивания в воде является эффективным способом удаления основной массы загрязнений. Установлен режим работы электрического привода, соответствующий 40 Вт потребляемой мощности и 1 минуте воздействия, который позволяет сохранять целостность сотов, ограничивая потери воскового сырья в пределах 4 %. Максимальные повреждения, соответствующие 54 % потерь, исследуемый материал получает при 98 Вт потребляемой мощности и наибольшей продолжительности воздействия.

Ключевые слова: воск, восковое сырье, загрязнения сотов, перга, очистка воскового сырья

Для цитирования: Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В. Исследование разрушаемости воскового сырья в процессе очистки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С182-189 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.33.41.025>

Original article

STUDY OF DESTRUCTIONABILITY OF WAX RAW MATERIALS IN THE CLEANING PROCESS

Alexander V. Shemyakin¹, Dmitry E. Kashirin²✉, Viktor V. Pavlov³, Dmitry V. Kurakin⁴, Alexey N. Alekseev⁵

© Шемякин А.В., Каширин Д.Е., Алексеев А.Н., Павлов В.В., Куракин Д.В., 2025

¹ university@rgatu.ru² kadm76@mail.ru³ pavlov.rgatu@mail.ru⁴ kurakind@internet.ru⁵ qwe20qw@mail.ru**Abstract.**

Problem and purpose. Modern beekeeping exists in the conditions of increasing problems associated with the decrease in the number of bees due to climate change, diseases, uncontrolled use of pesticides. Outdated technologies for obtaining wax and processing wax raw materials also negatively affect the state of the industry, which is both a supplier and the main consumer of this product. The need for preliminary cleaning of wax raw materials before melting is due to the property of impurities contained in honeycombs, such as bee bread, excrement and other organic inclusions, to bind melted wax, carrying away part of the product as waste. The purpose of the study is to study the property of bee honeycombs to collapse under the action of loads that this material experiences when cleaning from contaminants by mixing in water, to determine the dependence of the percentage of destruction on the power and time of exposure.

Methodology. To assess the destructibility of the wax raw material being cleaned during the cleaning process, a two-factor experiment was carried out, during which the values of the factors electric drive power and mixing time were varied and their influence on the percentage of destruction of whole pieces of clean honeycombs was determined. The experiment was carried out on a specially made laboratory setup.

Results. A model has been obtained that adequately approximates the experimental data and describes the dependence of the percentage of damaged honeycombs on the power consumption of the electric drive of the mixer and the duration of the action. The conditions under which the wax raw material receives minimal and maximal damage during mixing have been determined.

Conclusion. Cleaning of wax raw material before remelting by mixing in water is an effective way to remove the bulk of contaminants. The selected operating mode of the electric drive, corresponding to 40 W of consumed power and 1 minute of exposure allows maintaining the integrity of the honeycombs, thereby limiting the loss of wax raw material within 4 %. The maximum damage, corresponding to 54 % of losses, the material under study receives at 98 W of consumed power and the longest duration of exposure.

Key words: wax, wax raw materials, honeycomb contamination, bee bread, cleaning of wax raw materials

For citation: Shemyakin A.V., Kashirin D.E., Alekseev A.N., Pavlov V.V., Kurakin D.V. Study of destructionability of wax raw materials in the cleaning process // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2025, Vol.17, No.2, P. 182-189.<https://doi.org/DOI: 10.36508/RSATU.2025.33.41.025>

Введение

Наилучший сортовой воск получают на пасеках, применяя традиционные технологии и средства переработки качественного первоклассного воскового сырья – забруса и светлых пчелиных сот, не содержащих примесей [1-8]. Но такие соты чаще используют для повторной закладки в ульи, а воск вытапливают преимущественно из старых потемневших сот с большим количеством загрязнений [9, 10]. В процессе переработки выбракованных сотов особое значение имеет их предварительная очистка перед перетопкой. Важность этого этапа обусловлена свойством содержащихся в сотах примесей, таких как перга, экскременты и другие органические включения, задерживать на своей поверхности расплавленный воск, смешиваться с ним и уносить часть продукта в отходы [11].

Научные исследования, проведенные нами ранее, и разработанные на их основе способы и устройства очистки воскового сырья предусматривают его размокание в водной среде при осуществлении принудительного перемешивания, способствующего активному диспергированию твердых органических загрязнений, которые удаляются вместе с фильтратом [12-16]. Наиболее эффективно данный процесс происходит на предварительно измельченном восковом сырье [17, 18].

Перспективным направлением в дальнейшем развитии данной концепции является водная очистка сотов небольшими целыми кусками, отделенными от рамки, без их предварительного измельчения. Такой подход позволит существенно сократить энергоемкость очистки, а также повысить ее качество и производительность за счет применения фильтрующих сеток с более крупным шагом. Однако здесь возникает ряд трудностей и ограничений, связанных с подверженностью восковой суши к деформациям и разрушению при взаимодействии с рабочими органами устройства очистки.

Перемешивание кусков сотов в воде с применением лопастных мешалок неизбежно сопровождается частичным разрушением восковой основы из-за контактного взаимодействия сотов с лопастями, вращающимися с большой скоростью. Это приводит к дополнительным потерям сырья при последующей фильтрации очищенных сотов перед перетопкой. Поэтому правильный выбор режима очистки позволит избежать нежелательных разрушений очищаемого материала.

Целью исследования является изучение свойства пчелиных сотов разрушаться под действием нагрузок, которые испытывает данный материал при проведении очистки от загрязнений путем перемешивания в воде, определение зависимости



процента разрушений от мощности и времени воздействия.

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:

- нагрузка электропривода (потребляемая мощность);
- продолжительность перемешивания.

Из априорных данных были установлены границы варьирования факторов, приведенные в таблице.

Таблица – Факторы и уровни их варьирования

№ п/п	Фактор	Единица измерения	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал
				-1	0	1	
1	Мощность, потребляемая электроприводом	Вт	X ₁	40	100	160	60
2	Время перемешивания	мин	X ₂	1	21	41	20

Критерий оптимизации – процент разрушения Р%:

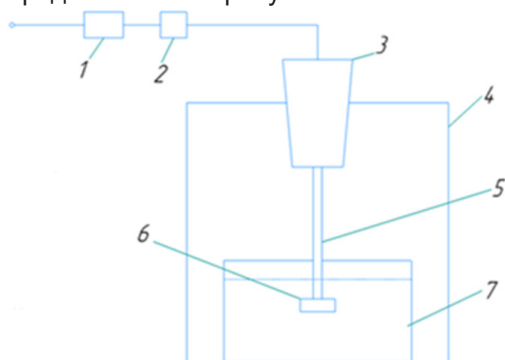
$$P_{\%} = \frac{m_{\text{нач}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{нач}}} \times 100 \quad (1)$$

где $m_{\text{нач}}$ – начальная масса образца (куска сотов), г;

$m_{\text{сух}}$ – масса высушенного образца после воздействия, г;

$(m_{\text{нач}} - m_{\text{сух}})$ – убыль массы (масса разрушившихся сотов), г.

Для установления совместного влияния выбранных факторов на критерий оптимизации была использована лабораторная установка, схема которой представлена на рисунке 1.



- 1 – ваттметр; 2 – устройство регулирования частоты вращения электрического привода; 3 – электрический привод; 4 – рама крепления электрического привода; 5 – рабочий вал; 6 – насадка-мешалка; 7 – емкость с жидкостью для вымачивания и перемешивания сырья

Рис. 1 – Схема лабораторной установки

- 1 – wattmeter; 2 – electric drive speed control device; 3 – electric drive; 4 – electric drive mounting frame; 5 – working shaft; 6 – mixer attachment; 7 – container with liquid for soaking and mixing raw materials

Fig. 1 – Laboratory setup diagram

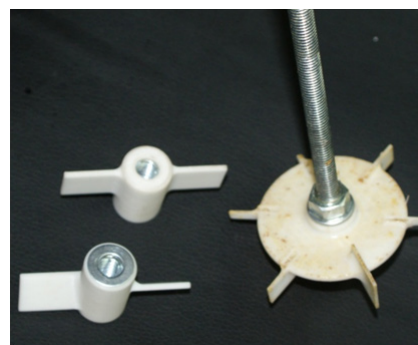
Конструкция устройства (рис. 1) включает в себя несколько элементов. Электрический привод 3, установленный на раме 4, вращает вал 5 с закрепленной на нем насадкой-мешалкой 6, которая перемешивает жидкость с содержащимся в ней сырьем внутри емкости 7. Электропитание уста-

новки осуществляется от электросети напряжением 220 В, к которой подключен ваттметр 1 для измерения мощности, потребляемой электроприводом, и устройство 2 для регулирования частоты вращения привода. Данные приборы позволяют контролировать скорость перемешивания и потребление электроэнергии. Номинальная мощность электропривода, применяемого в данном эксперименте, составляла 0,75 кВт, перемешиваемый объем жидкости 8 л.

Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 2-а.



а



б

- 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



Для проведения исследования были взяты чистые пчелиные соты, не содержащие перги и других загрязнений, и отделены от рамок в виде небольших кусков с линейными габаритами 70-100 мм. Из них подготовили девять экспериментальных партий по пять кусков в каждой партии. Материал взвешивали на весах и фиксировали результаты измерения. Затем очередную партию погружали в емкость лабораторной установки и включали привод мешалки. По истечении заданного времени перемешивания с определенной мощностью согласно плану эксперимента (табл. 1), неразрушенное сырье пропускали через фильтр и помещали в сушильный шкаф до полного высыхания. Относительное уменьшение массы в результате разрушения восковой основы определяли по формуле (1).

Результаты исследований и их обсуждения

1. Потребляемая электроприводом мощность 160 Вт, время перемешивания 1 минута – режим (1, -1). При извлечении воскового сырья из емкости можно заметить, что куски сотов сильно измельчены по краям, но в центре сохранились целые ячейки. Данный режим работы значительно повреждает восковое сырье. При перемешивании с данной интенсивностью в емкости создается большая воронка, в которой куски сотов соударяются с лопастями мешалки, вращающейся с большой скоростью относительно кусков, и повреждаются преимущественно в боковой части.

2. Мощность 160 Вт, время перемешивания 20 минут – режим (1, 0). Соты также подверглись значительным разрушениям, среди измельченной массы можно увидеть частицы вошины, которая в меньшей степени подвержена измельчению, так как имеет более плотную основу, чем стенки ячеек.

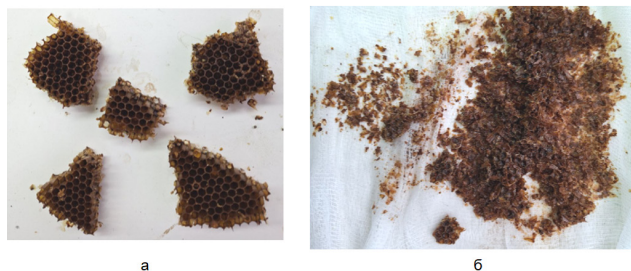


Рис. 3 – Образцы партии сотов до (а) и после (б) очистки в режиме (1, 1)

Fig. 3 – Samples of a batch of honeycombs before (a) and after (b) cleaning in mode (1, 1)

7. Мощность 40 Вт, время перемешивания 1 минута – режим (-1, -1). Деформаций образцов не происходит. Некоторые ячейки сотов не заполнились водой. В данном режиме можно производить очистку сотов только от поверхностных загрязнений.

8. Мощность 40 Вт, время перемешивания 20 минут – режим (-1, 0). Куски сырья получают минимальную деформацию от контакта с лопастями, ячейки равномерно насыщаются влагой. Изменений структуры сотов практически не происходит (рис. 5).

3. Мощность 160 Вт, время перемешивания 41 минута – режим (1, 1). Основная часть сырья измельчилась на мелкие фракции, также в общей массе можно увидеть маленькие куски вошины, имеющие размер 3-8 ячеек сотов. После очистки цвет жидкости в емкости несколько темнее, чем в предыдущих опытах, из чего следует, что часть связанных загрязнений перешла в раствор. Изменения третьей экспериментальной партии представлены на рис. 3.

4. Мощность, потребляемая электроприводом, 100 Вт, время перемешивания 1 минута – режим (0, -1). Скорость перемешивания остается слишком высокой, вследствие чего образуется большая воронка, в которой соты подвергаются разрушению от соударения с быстро движущимися относительно них лопастями мешалки. В первую очередь измельчаются стенки и края сотов, после чего остается вошина. Изменения четвертой экспериментальной партии представлены на рис. 4.

5. Мощность 100 Вт, время перемешивания 20 минут – режим (0, 0). Стенки ячеек практически полностью отсутствуют на всех кусках, измельченные части имеют более крупную фракцию, присутствует большее количество кусочков вошины, которые имеют больший размер, по сравнению с опытом (1, 0).

6. Мощность 100 Вт, время перемешивания 41 минута – режим (0, 1). Фракция измельченной части воскового сырья заметно крупнее по сравнению с опытом (1, 1), уцелевшая часть вошины имеет больший размер, примерно в два раза. Данный режим также приводит к существенным повреждениям сотов.

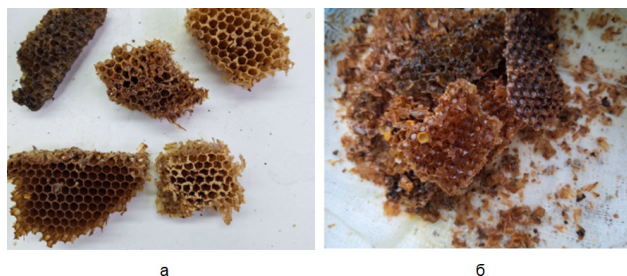


Рис. 4 – Образцы партии сотов до (а) и после (б) очистки в режиме (0, -1)

Fig. 4 – Samples of a batch of honeycombs before (a) and after (b) cleaning in the (0, -1) mode

9. Мощность 40 Вт. Время перемешивания 41 минута – режим (-1, 1). Куски сотов практически не потеряли первоначальную форму от периодического контакта с мешалкой, ячейки так же равномерно насыщаются влагой, что создает благоприятные условия для вымывания из них загрязнений. От контактного взаимодействия с лопастями слабые стенки ячеек повредились.

Статистическая обработка полученных опытных данных позволила установить эмпирическую модель, устанавливающую зависимость процента разрушенных сотов $P, \%$ от потребляемой мощности



электропривода (X_1 , Вт) и времени перемешивания (X_2 , мин). Все факторы оказались значимыми.



а



б

Рис. 5 – Образцы партии сотов до (а) и после (б) очистки в режиме (-1, 0)

Fig. 5 – Samples of a batch of honeycombs before (a) and after (b) cleaning in the (-1, 0) mode

Адекватное уравнение регрессии представлено экспоненциальной моделью с полиномиальной степенью:

$$P_{\%}(X_1, X_2) = \text{EXP}(-0,37 + 0,05X_1 + 0,09X_2 - 0,0002X_1X_2 - 0,0002X_1^2 - 0,0007X_2^2) \quad (2)$$

Графически зависимость (2) представлена на рис. 6.

Оптимизация полученной модели (2) приводит к следующим результатам:

- минимизация критерия $P_{\min}(40; 1) = 3,74 \%$;
- максимизация критерия $P_{\max}(97,3; 41) = 54,18 \%$.

Таким образом, минимальным повреждениям и потерям воскового сырья на уровне 3,74 % соответствует режим работы электрического привода, соответствующий 40 Вт потребляемой мощности и 1 минуте воздействия. Максимальные повреждения, соответствующие 54 % потерь, исследуемый материал получает при 98 Вт потребляемой мощности и наибольшей продолжительности воздействия, т.е. 41 мин.

Двухсторонняя оптимизация позволяет определить пределы изменения факторов для установления баланса между требованием минимизации потерь от разрушения восковой основы и наилучшими условиями для удаления водорастворимых загрязнений. Из графика видно, что

допустимые разрушения восковой основы могут быть достигнуты при варьировании одного из факторов вблизи минимального значения второго (рис. 6). Так, для очистки сильно загрязненных сотов следует либо осуществлять кратковременное перемешивание с высокой интенсивностью, либо дольше производить их очистку в щадящем режиме. Выбор конкретного режима очистки зависит от качества и состояния сырья, определяемого при визуальном осмотре.

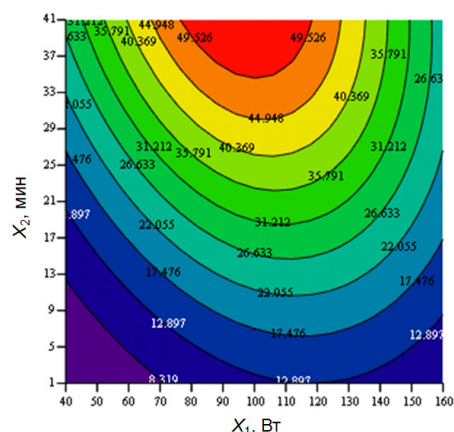
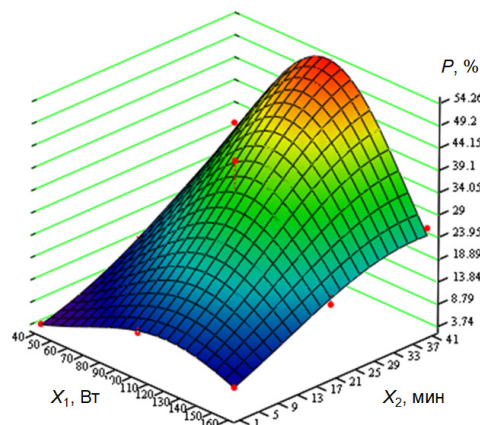


Рис. 6 – Зависимость процента разрушенных сотов $P\%$ от мощности, потребляемой электроприводом, (X_1 , Вт) и времени перемешивания (X_2 , мин)

Fig. 6 – Dependence of the percentage of destroyed honeycombs $P\%$ on the power consumed by the electric drive (X_1 , W) and the mixing time (X_2 , min)

Закключение

1. Интенсивное контактное взаимодействие пчелиных сотов с лопастными мешалками при перемешивании в водной среде приводит к деформациям и разрушению сотов, и, как следствие, к потере части восковой основы, которая в измельченном виде удаляется вместе с растворившимися загрязнениями.

2. Минимальным повреждениям и потерям воскового сырья на уровне 3,74 % соответствует режим работы электрического привода, соответствующий 40 Вт потребляемой мощности и 1 минуте воздействия. Максимальные повреждения, соответствующие 54 % потерь, исследуемый матери-



ал получает при 98 Вт потребляемой мощности и наибольшей продолжительности воздействия (41 мин).

3. Режим перемешивания при минимальных значениях факторов – мощности привода и времени перемешивания, находящихся на нижних уровнях диапазона варьирования, хорошо сохраняет целостность сотов перед перетопкой и подходит для очистки от поверхностных загрязнений.

4. Выбор режима очистки зависит от качества воскового сырья, определяемого при визуальном осмотре. Для очистки сильно загрязненных сотов следует увеличивать значение одного из факторов при сохранении второго на минимальном уровне.

Список источников

1. Максимов, Н. М. Анализ оборудования для получения пчелиного воска на пасеках / Н. М. Максимов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2018. – № 1(6). – С. 66-71. – EDN UOBJEK.
2. 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.
3. Максимов, Н. М. Многофакторное исследование выработки пара в парогенераторе при перетопке воска / Н. М. Максимов, О. М. Афанасьева // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 2(31). – С. 84-91. – EDN SZCFWN.
4. Максимов, Н. М. Перспективная технология переработки воскового сырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов, В. В. Морозов // Традиции и инновации в развитии АПК : Материалы международной научно-практической конференции, Великие Луки, 17–19 апреля 2019 года. – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 493-499. – EDN ZEMFUX.
5. Максимов, Н. М. Предпосылки к разработке технологии переработки воскосырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы 69-ой Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2018 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 235-239. – EDN YNSDWX.
6. Максимов, Н. М. Результаты многофакторного исследования выработки пара в парогенераторе при перетопке воска на пасеках / Н. М. Максимов, В. В. Морозов // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 1(29). – С. 77-80. – EDN NOOJNY.
7. Максимов, Н. М. Совершенствование технологии переработки воскосырья на пасеках с использованием парогенератора / Н. М. Максимов // Международный молодежный аграрный форум "Аграрная наука в инновационном развитии АПК" : Материалы международной научно-практической конференции, Майский, 26–28 ноября 2018 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 148-151. – EDN YZLONV.
8. 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.
9. Максимов, Н. М. Исследование качественных показателей пасечного воска / Н. М. Максимов // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3(32). – С. 48-54. – EDN JROVGE.
10. Максимов, Н. М. Упрощенный способ извлечения перги из пчелиных сот / Н. М. Максимов, Е. В. Лосякова // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2(66). – С. 57-61. – EDN YVOGUM.
11. Исследование физико-механических свойств органических загрязнений воскового сырья / А. В. Шемякин, Д. Е. Каширин, А. Н. Алексеев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 176-182. – DOI 10.36508/RSATU.2024.78.36.025. – EDN SLJFDJ.
12. Исследование очистки суши сотов от органических загрязнений в водной среде / А. В. Шемякин, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 171-178. – DOI 10.36508/RSATU.2025.79.66.023. – EDN OTITGW.
13. 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.
14. Бышов, Д. Н. Совершенствование конструкции установки для очистки воскового сырья / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов // Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 20 ноября 2020 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 81-85. – EDN CDFGXG.
15. Патент № 2656968 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ очистки воскового сырья : № 2017106065 : заявл. 20.02.2017 : опубл. 07.06.2018 / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN ZEGVPF.
16. Патент № 2672403 С1 Российская Федера-



ция, МПК А01К 59/06. Установка для очистки воскового сырья : № 2018104393 : заявл. 05.02.2018 : опубл. 14.11.2018 / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов, А. А. Петухов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN ZSAWBF.

17. Павлов, В. В. К вопросу обоснования параметров штифтового измельчителя воскового сырья / В. В. Павлов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвященной 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро (СКБ), Рязань, 11 февраля 2020 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВО «Рязанский го-

сударственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»; Всероссийский фестиваль науки Наука 0+ студенческого конструкторского бюро Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева; совет молодых учёных Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 70-73. – EDN ACGTTO.

18. Теоретическое обоснование процесса измельчения воскового сырья / Д. Н. Бышов, Д. Е. Каширин, В. В. Павлов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 70-75. – EDN YSAQUH.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Maksimov, N. M. Analiz oborudovaniya dlja poluchenija pchelinogo voska na pasekah / N. M. Maksimov // Vestnik Soveta molodyh uchenyh Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – 2018. – № 1(6). – S. 66-71. – EDN UOBJEK.
2. Maksimov, N. M. K voprosu ohlazhdenija pasechnogo voska posle peretopki voskosyr'ja / N. M. Maksimov // Nauchno-tehnicheskij progress v sel'skohozjajstvennom proizvodstve : Sbornik dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Velikie Luki, 09–10 aprelja 2020 goda. – Velikie Luki: Velikolukskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija, 2020. – S. 127-131. – EDN ESJJB.
3. Maksimov, N. M. Mnogofaktornoe issledovanie vyrabotki para v parogeneratore pri peretopke voska / N. M. Maksimov, O. M. Afanas'eva // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2019. – № 2(31). – S. 84-91. – EDN SZCFWH.
4. Maksimov, N. M. Perspektivnaja tehnologija pererabotki voskovogo syr'ja na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov, V. V. Morozov // Tradicii i innovacii v razvitii APK : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Velikie Luki, 17–19 aprelja 2019 goda. – Velikie Luki: Velikolukskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija, 2019. – S. 493-499. – EDN ZEMFUX.
5. Maksimov, N. M. Predposylki k razrabotke tehnologii pererabotki voskosyr'ja na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov // Innovacionnoe nauchno-obrazovatel'noe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : materialy 69-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rjazan', 25 aprelja 2018 goda. Tom Chast' II. – Rjazan': Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2018. – S. 235-239. – EDN YNSDWX.
6. Maksimov, N. M. Rezul'taty mnogofaktornogo issledovanija vyrabotki para v parogeneratore pri peretopke voska na pasekah / N. M. Maksimov, V. V. Morozov // Vestnik Kurganskoj GSHA. – 2019. – № 1(29). – S. 77-80. – EDN NOOJNY.
7. Maksimov, N. M. Sovershenstvovanie tehnologii pererabotki voskosyr'ja na pasekah s ispol'zovaniem parogeneratora / N. M. Maksimov // Mezhdunarodnyj molodezhnyj agrarnyj forum "Agrarnaja nauka v innovacionnom razvitii APK" : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Majskij, 26–28 nojabrja 2018 goda. – Majskij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ja. Gorina, 2018. – S. 148-151. – EDN YZLONV.
8. Maksimov, N. M. Teoreticheskoe obosnovanie raboty voskopressa "Lisica" pri otzhime voska iz mervy / N. M. Maksimov, N. V. Nikiforov // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 97-99. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.017. – EDN LBZUCN.
9. Maksimov, N. M. Issledovanie kachestvennyh pokazatelej pasechnogo voska / N. M. Maksimov // Izvestija Velikolukskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2020. – № 3(32). – S. 48-54. – EDN JROVGE.
10. Maksimov, N. M. Uproshhjonnyj sposob izvlechenija pergi iz pchelinych sot / N. M. Maksimov, E. V. Losjakova // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. – 2018. – № 2(66). – S. 57-61. – EDN YVOGUM.
11. Issledovanie fiziko-mehaničeskich svojstv organičeskich zagrzaznenij voskovogo syr'ja / A. V. Shemjakin, D. E. Kashirin, A. N. Alekseev [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2024. – T. 16, № 4. – S. 176-182. – DOI 10.36508/RSATU.2024.78.36.025. – EDN SLJFDJ.
12. Issledovanie očistki sushi sotov ot organičeskich zagrzaznenij v vodnoj srede / A. V. Shemjakin, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov [i dr.] // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2025. – T. 17, № 1. – S. 171-178. – DOI 10.36508/RSATU.2025.79.66.023. – EDN OTITGW.
13. Pavlov, V. V. Obosnovanie parametrov ustrojstva očistki voskovogo syr'ja : special'nost' 05.20.01 "Tehnologii i sredstva mehanizacii sel'skogo hozjajstva" : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničeskich nauk / Pavlov Viktor Vjacheslavovich, 2021. – 157 s. – EDN LXRRNN.



14. Byshov, D. N. Sovershenstvovanie konstrukcii ustanovki dlja ochistki voskovogo syr'ja / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov // *Tehnologicheskie novicii kak faktor ustojchivogo i jeffektivnogo razvitiya sovremennogo agropromyshlennogo kompleksa : Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Rjazan', 20 nojabrja 2020 goda. Tom Chast' II. – Rjazan': Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2020. – S. 81-85. – EDN CDFGXG.*

15. Patent № 2656968 C1 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 51/00. Sposob ochistki voskovogo syr'ja : № 2017106065 : zjavl. 20.02.2017 : opubl. 07.06.2018 / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov ; zjavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija "Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva". – EDN ZEGVPF.

16. Patent № 2672403 C1 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 59/06. Ustanovka dlja ochistki voskovogo syr'ja : № 2018104393 : zjavl. 05.02.2018 : opubl. 14.11.2018 / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov, A. A. Petuhov ; zjavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija "Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva". – EDN ZSAWBF.

17. Pavlov, V.V. K voprosu obosnovanija parametrov shtiftovogo izmel'chitelja voskovogo syr'ja / V. V. Pavlov // *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii posvjashhjonnoj 40-letiju so dnja organizacii studencheskogo konstruktorskogo bjuro (SKB), Rjazan', 11 fevralja 2020 goda / Ministerstvo Sel'skogo Hozjajstva Rossijskoj Federacii; FGBOU VO «Rjazanskij GOSUDARSTVENNYJ Agrotehnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva»; Vserossijskij festival' Nauki Nauka 0+ studencheskogo konstruktorskogo bjuro Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva; Sovet molodyh uchjonyh Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. – Rjazan': Rjazanskij gosudarstvennyj agrotehnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2020. – S. 70-73. – EDN ACGTTO.*

18. Teoreticheskoe obosnovanie processa izmel'chenija voskovogo syr'ja / D. N. Byshov, D. E. Kashirin, V. V. Pavlov [i dr.] // *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. – № 4(40). – S. 70-75. – EDN YSAQUH.*

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

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, ст. лаборант кафедры электроснабжения, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», kurakind@internet.ru

Алексеев Алексей Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», qwe20qw@mail.ru

Author Information

Shemyakin Aleksandr V., Doctor of Technical Sciences, 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

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 V., Senior Laboratory Assistant, Department of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, kurakind@internet.ru

Alekseev Aleksey N., Postgraduate Student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, qwe20qw@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 04.06.2025; accepted for publication 10.06.2025.



Вестник РГТУ, 2025, т.17, №2, с. 190-197
Vestnik RGATU, 2025, Vol.17, №2, pp.190-197

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 656.09
DOI: 10.36508/RSATU.2025.31.34.001

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЕЙ MAN НА ЛИНИИ ЦИФРОВИЗАЦИЕЙ
ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Иван Александрович Юхин¹✉, Павел Сергеевич Синицин², Дмитрий Михайлович Юмаев³,
Олег Владимирович Филюшин⁴, Андрей Михайлович Мошнин⁵**

^{1,2,3,4,5} ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹ yuival@rambler.ru

² Pasha.Sinitsin@yandex.ru

³ yumaeb@yandex.ru

⁴ olegfil93@mail.ru

⁵ Moshnin1999@ya.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Целью настоящего исследования было определение нормы расхода топлива. В свете растущего объема автомобильных перевозок и развития дорожной сети проблема уменьшения потребления топлива становится более острой. Применение современных систем контроля за расходом, учитывающих как пройденное расстояние, так и характер работы автомобиля, представляется одним из эффективных подходов к её решению. С 2008 года, когда были введены нормативы по эффективности топливопотребления и использования масел в автопроме, наблюдается тенденция к повышению экономичности транспортных средств. Данные стандарты, основанные на научно-техническом прогрессе, отражают изменения в автопарке, введение инноваций и усовершенствование управления трафиком. Постоянные достижения в технологиях производства автомобилей и оптимизация процессов на предприятиях требуют пересмотра норм потребления топлива для их дальнейшего совершенствования. Эти меры позволят не только более эффективно расходовать энергетические ресурсы, но и будут способствовать сокращению выбросов загрязняющих веществ, позиционируя это как движение в направлении более чистых способов перевозки грузов.

Методология. В исследовании нормирования потребления топлива использовалась инновационная система контроля расхода, обновленные временные стандарты, технические документации.

Результаты. В эру активного прогресса транспортного сектора совершенствование экономичности топлива является первоочередной задачей. Внедрение передовых решений для гибкого контроля расхода топлива в соответствии с путевым пробегом и объемами проведенных операций выступает в роли ведущего фактора в сокращении трат на топливо. Обновление нормативной базы, которая отражает технические и управленческие аспекты в области транспорта, предполагает пересмотр стандартов потребления топлива для повышения эффективности и бережного использования ресурсов. Внедрение современных технологий и методов мониторинга способствует улучшению контроля за расходом топлива и его экономичностью. Постоянное переосмысление и адаптация нормативов потребления топлива в процессе эксплуатации автомобилей подчеркивает важность обновления управленческих подходов к экономии топлива.

Заключение. В контексте динамично изменяющегося рынка и увеличения требований к эффективности ревизия стандартов потребления топлива критически важна для оптимизации работы транспортного флота и снижения операционных затрат.

Ключевые слова: эффективное использование топлива, транспортировка грузов автомобильным транспортом, обслуживание и техническое обслуживание автомобилей, стандарты расхода горючего

Для цитирования. Юхин И.А., Синицин П.С., Юмаев Д.М., Филюшин О.В., Мошнин А.М. Повышение эффективности работы автомобилей MAN на линии цифровизацией их эксплуатации // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2025, Т.17, №2, С. 190-197 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.31.34.001>



INCREASING THE EFFICIENCY OF MAN VEHICLES ON THE LINE BY DIGITALIZING THEIR OPERATION

Ivan A. Yukhin¹✉, Pavel S. Sinitsyn², Dmitry M. Yumaev³, Oleg V. Filyushin⁴, Andrei M. Moshnin⁵^{1,2,3,4,5} Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia¹ yuival@rambler.ru² Pasha.Sinitsin@yandex.ru³ yumaeb@yandex.ru⁴ olegfil93@mail.ru⁵ Moshnin1999@ya.ru**Abstract.**

Problem and purpose. The objective of this study was to determine the fuel consumption standard. In light of the growing volume of automobile transportation and the development of the road network, the problem of reducing fuel consumption is becoming more acute. The use of modern consumption control systems that take into account both the distance traveled and the nature of the car's operation seems to be one of the effective approaches to solving this problem. Since 2008, when standards for fuel consumption and oil use efficiency were introduced in the automotive industry, there has been a tendency to improve the efficiency of vehicles. These standards, based on scientific and technological progress, reflect changes in the vehicle fleet, the introduction of innovations and improvements in traffic management. Constant advances in automobile production technologies and optimization of processes at enterprises require a revision of fuel consumption standards for their further improvement. These measures will not only allow for more efficient use of energy resources, but will also help reduce pollutant emissions, positioning this as a movement towards cleaner ways of transporting goods.

Methodology. The study of fuel consumption regulation used an innovative consumption control system, updated time standards, and technical documentation.

Results. In the era of active progress in the transport sector, improving fuel efficiency is a priority task. The introduction of advanced solutions for flexible control of fuel consumption in accordance with the distance traveled and the volume of operations performed acts as a leading factor in reducing fuel costs. Updating the regulatory framework, which reflects technical and managerial aspects in the field of transport, involves revising fuel consumption standards to improve efficiency and careful use of resources. The introduction of modern technologies and monitoring methods helps improve control over fuel consumption and its efficiency. Constant rethinking and adaptation of fuel consumption standards during vehicle operation emphasizes the importance of updating management approaches to fuel economy.

Conclusion. In the context of a dynamically changing market and increasing demands for efficiency, revision of fuel consumption standards is critical to optimizing fleet operations and reducing operating costs.

Key words: efficient use of fuel, transportation of goods by road, service and maintenance of vehicles, fuel consumption standards

For citation: Yukhin I.A., Sinitsyn P.S., Yumaev D.M., Filyushin O.V., Moshnin A.M. Increasing the efficiency of man vehicles on the line by digitalizing their operation // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2025. Vol.17, No2. P.190-197 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2025.31.34.001](https://doi.org/10.36508/RSATU.2025.31.34.001)

Введение

Эффективность использования топлива напрямую зависит от его регламентирования. В области автотранспортных услуг используется инновационная система управления топливом, которая адаптируется к пройденному расстоянию и объему выполненных работ. Эти регламенты способствуют более точному бюджетированию топлива и повышению его использования. С 2008 года были введены обновленные промежуточные стандарты для потребления топлива и масел, основанные на детальных технических анализах. Эти стандарты отражают текущее техническое состояние автопарка, применяемые технологии и логистические процессы. С улучшением характеристик автомобилей и оптимизацией рабочих процессов стандарты потребления топлива подлежат регуляр-

ному пересмотру и корректировке в направлении усовершенствования.

Стандартизация нацелена на достижение экономической эффективности через оптимальное использование ресурсов и повышение их производительности. Ее ключевая миссия заключается в установлении передовых, экономически эффективных и технически обоснованных стандартов для потребления топлива.

В автомобильной промышленности приняты разнообразные стандарты для анализа топливной эффективности, включая нормы расхода топлива в процессе движения, методы оценки использования топлива спецтехникой на борту, а также уникальные критерии, оценивающие расход топлива в зависимости от объема выполненных грузоперевозок.



Стандарты применения и эксплуатационные требования к транспортным средствам служат основой для расчетов с рабочими, а также инструментом для текущего учета и статистического анализа, создавая базу для вычисления уникальных коэффициентов расхода топлива.

Нормы расхода топлива на единицу перевезенного груза, пассажиров или объема (выраженные в граммах на тонно-километр, пассажиро-километр или плотно-километр) разрабатываются на базе стандартных расчетов расходов топлива и служат критериями для определения потребностей в топливе, распределения топливных квот и оценки эффективности его использования.

Для каждой категории транспортных средств устанавливаются нормы потребления топлива, адаптированные под конкретные условия использования автомобилей. Эти нормы включаются в общие стандарты транспортной отрасли, охватывая объем топлива, требуемый для осуществления грузоперевозок и пассажирских перевозок. Вне этих стандартов находятся расходы топлива для вспомогательных нужд, таких как содержание гаражного хозяйства и выполнение несвязанных с транспортировкой функций, которые регламентируются отдельными правилами.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании применяются разнообразные стандарты для измерения расхода топлива. Эти стандарты подразделяются на три основные категории. Первая – это базовый стандарт, который устанавливает средний расход топлива на каждые 100 км пути для транспортного средства без груза. Вторая категория ориентирована на эффективность использования топлива на 100 тонно-километров, что помогает оценить увеличение расхода при перевозке грузов. Третья категория учитывает специфику перевозок с грузом, вводя корректировки на дополнительный расход топлива, который возникает из-за необходимости выполнения маневров во время операций загрузки и разгрузки.

При первоначальном использовании транспортных средств на первом километре пути после проведения капитального ремонта или на совершенно новой технике, равно как и во время организованного перемещения этих единиц техники собственным ходом в режиме отдельного передвижения, допускается увеличение нагрузки до 10 %. В случаях, когда перемещение осуществляется с использованием связанных между собой транспортных средств или формированием колонны, разрешается повышать нагрузку до 20 %.

В ситуациях, когда транспортные единицы ожидают процесс загрузки или разгрузки на объектах с повышенными требованиями к пожаробезопасности, где в соответствии с регламентами запрещается прекращение работы двигателя (как на объектах нефтепереработки или в отдельных типах складов), применяется специальный

норматив потребления топлива. Данный норматив устанавливает, что продолжительность пребывания в активном режиме без движения на

протяжении одного часа эквивалентна затратам горючего, необходимым для преодоления дистанции в пять километров.

Результаты исследований и их обсуждение

Разработанные унитарные стандарты для потребления топлива базируются на методиках, которые позволяют модифицировать нормы в зависимости от специфики энергопотребления. Эти стандарты служат основополагающим элементом для внедрения системы стимулирования экономии топлива и электричества в автомобильной отрасли через материальные вознаграждения. Проблематика разработки и апробации продуктивных механизмов финансовой мотивации для эффективного использования энергетических ресурсов продолжает быть предметом острого интереса.

Методики установления норм потребления топлива

К ключевым методикам установления стандартов потребления топлива причисляют:

- экспериментальный,
- расчетно-статистический.

Аналитические методы набирают популярность, хотя существуют иные стратегии. В последнее время подходы, основанные на расчетах и анализе [10], становятся более востребованными.

Экспериментальная методология в исследовании топливной эффективности предоставляет возможность формирования точных расходных стандартов для конкретных транспортных средств в уникальных условиях их эксплуатации. Однако, данная методика сталкивается с проблемами скорости выполнения из-за сложностей в измерении разнообразия эксплуатационных факторов. Дополнительно она требует оценки топливной экономичности по широкому спектру маршрутов, что существенно увеличивает временные затраты на получение проверенных данных. Следовательно, экспериментальное исследование лучше всего подходит для определения специфических стандартов расхода топлива на индивидуальной основе в рамках определённых транспортных сценариев.

Применение расчетно-статистического метода позволяет формировать нормативы потребления топлива, исходя из анализа обширных данных о среднем использовании энергоносителей и оценки влияния разнообразных факторов на отклонения от стандартных эксплуатационных условий. В процессе аналитической оценки активно используются техники множественной регрессии, чья эффективность подтверждена многолетним опытом, хотя они сталкиваются с определенными трудностями из-за необходимости учета многочисленных рабочих параметров [11], что затрудняет оценку их влияния. При этом подход к анализу не предполагает изучение корреляций между отдельными переменными, влияющими на потребление топлива. Несмотря на это, разработка и внедрение регрессионных моделей, отражающих реальные условия работы, значительно облегчает процедуру определения линейных норм потребления энергетических ресурсов. Таким образом, расчет-



но-статистический метод выступает ключевым инструментом в создании объективных нормативов по использованию топлива.

В век технологического развития методы аналитики все больше предпочитают за их способность оптимизировать стандарты и обеспечивать самостоятельный анализ данных на различных уровнях. Эта стратегия строится на аккуратном измерении потребления топлива, достигаемом через детальное изучение каждого аспекта транспортировки и специфики ее применения. Его ключевые преимущества: надежность и высокая точность измерений являются результатом способности осуществлять точные расчеты.

Точность в прогнозах потребления топлива тесно связана с комплексностью используемых моделей, которые анализируют не только статус дорожного покрытия, но и параметры автомобиля, а также климатические условия. Несмотря на интеграцию всех этих переменных и уникальные характеристики каждого транспортного средства, полностью устранить ошибки в оценках расхода топлива невозможно из-за неизбежных неточностей. Проверка этой теории требует проведения обширных эмпирических исследований с применением аналитических техник.

К ключевым факторам, определяющим уровень потребления топлива транспортными средствами, принадлежат эффективное планирование пробега, а также настройка грузоподъемности, длина трасс для перевозки грузов и пассажиров, установленные скорости движения, качество дорожного покрытия и влияние погодных условий.

Определение стандарта расхода топлива для грузовиков и тягачей с прицепами, учитывая их грузоподъемность, производится по следующей формуле:

$$Q_{\text{ап}} = (K + K_1 - 1) \cdot [(Q + Q_0 + g_{\text{пр}})] + Q_1 G_{\text{пр}} \quad (1)$$

где $g_{\text{пр}}$ – грузоподъемность прицепа, т;

$G_{\text{пр}}$ – масса прицепа, т.

Норму расхода топлива для автомобилей-самосвалов рассчитывают по формуле:

$$Q_{\text{ас}} = (K + K_1 - 1) \cdot (Q_0 + Q_c) \quad (2)$$

где Q_c – надбавка к норме при работе с самосвальным механизмом, которая составляет 0,3 л на каждую езду на 100 км пробега.

Для легковых автомобилей, автобусов и грузовых автомобилей, работа которых не учитывается в тонно-километрах, применяют нормы расхода топлива с учетом только общего пробега:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{(K + K_1 - 1) \cdot Q}{100} \cdot l \quad (3)$$

где l – общий пробег автомобиля или автобуса, км.

При разработке норм расхода топлива критически важно гарантировать, что базовая оценка расхода точно отражает разнообразие параметров. Корректировка под изменяющиеся условия эксплуатации транспортного средства достигается путем применения определенных корректировочных коэффициентов. Тем не менее, действующая

система коррекции расхода топлива не предусматривает точный учет влияния множества эксплуатационных условий на конечную его величину.

При реальном эксплуатации автотранспорта задача наложения точных ограничений на допустимые увеличения расхода топлива, не превышая установленных пределов, оказывается особенно сложной. К тому же, эти разрешенные прибавки к расходу для выполнения транспортных задач унифицированы как для транспортных средств с бензиновыми двигателями разных моделей, так и для транспорта на дизельном топливе, вопреки их разнообразию. Однако реальная эффективность потребления топлива сильно варьируется между разными моделями транспорта и автопоездами с различающимися типами двигателей, т.к. идеальный диапазон потребления топлива для каждого типа двигателя имеет свои специфические характеристики в зависимости от общей динамики скорости и может не соответствовать условиям, наиболее благоприятным для эксплуатации.

Необходимость в точной информации о потреблении топлива обусловлена различиями между ожидаемыми и реальными показателями расхода, что обосновывает постоянное обновление стандартов и методик определения потребления энергетических ресурсов в секторе транспорта. За соответствие уровней расхода отвечает производственно-технический персонал, в то время как эксплуатационные и управленческие службы несут ответственность за нормы удельного показателя расхода топлива. Стандарты потребления формируются исходя из технического состояния и работоспособности автотранспорта, важность которых нельзя недооценивать в контексте эффективности подвижного состава. В связи с этим на производственно-техническую службу возлагается забота о периодическом сервисном обслуживании транспортных средств, своевременном устранении неисправностей и использовании только одобренных видов топлива, смазочных материалов и масел.

Основная часть специфического расхода топлива, соответствующая 75 %, формируется благодаря ключевым техническим и операционным параметрам автомобильных средств передвижения. В это входит эффективность на протяжении преодолеваемого пути, способность к перевозке грузов, а также использование дополнительных устройств, например, прицепов. При выполнении данных расчетов принимается во внимание коэффициент производительности, подчеркивая важность для компаний на автотранспорте неуклонно совершенствовать контроль и максимизацию эффективности эксплуатации автопарка.

Сердцевиной проблематики регулирования расхода топлива является трудность в разработке универсальных, но при этом специфичных для каждой ситуации стандартов потребления энергосистем. Подход, основанный на маршрутной нормализации, становится ключевым в усовершенствовании данной системы, предлагая снижение затрат топлива на 5-10 % благодаря более



детальному анализу индивидуальных особенностей каждого пути следования. Данный метод выступает не только в роли инструмента экономии, но также стимулирует повышение профессионализма и результативности как в организационной деятельности автотранспортных компаний, так и среди самых водителей. На текущий момент его применение в основном ограничено автобусными маршрутами, но имеется значительный потенциал для его адаптации и к эксплуатации других категорий автомобильного транспорта, включая легковые автомобили и грузовики, особенно при их использовании на фиксированных маршрутах.

Процедура нормализации расхода топлива предполагает систематические осмотры автотранспортных средств, которые выполняются инженерами и экономистами из отделов по улучшению эксплуатационно-экономических показателей. Для этого организуют плановые выезды на маршруты в соответствии с утверждённым расписанием на специализированных автомобилях. Линейная норма расхода топлива определяется исходя из расстояния, которое автомобиль проезжает без груза, без учета корректировок, связанных с фактическим объемом перевезенных грузов. В случае с самосвалами данный показатель корректируется с учетом их транспортной эффективности, вводя коэффициент 0,5 для отражения соотношения между реально выполненной работой по перевозке грузов и теоретически возможной при полной загрузке и оптимальном использовании грузоподъемности и пробега.

Автомобильная отрасль применяет строгие нормы для оценки экономичности топливопотребления новых моделей автомобилей, опираясь на специфические условия использования, которые демонстрируют топливную эффективность авто. Для грузовиков, к примеру, определены стандартизированные условия испытаний на скоростях 60 и 80 км/ч, что позволяет адекватно оценить их топливную экономичность.

Мониторинг расхода горючего при стандартной скорости в 40 километров в час считается ключевым параметром для анализа эффективности использования топлива.

Таблица отражает нормированное потребление топлива исследуемыми объектами.

В изучении эволюции технологий оптимизации расхода топлива легковых транспортных средств применяются усиленные нормы эффективности. С рубежа XXI века введено более строгое регулирование норм потребления топлива при движении на стандартизированных скоростях.

Таблица – Нормируемый расход топлива для объектов исследования

Модель, марка, модификация автомобиля	Базовая норма, л/100 км	Топлива
DAF FT/FA 95 XF 380 (6L-12,58-381-16M)	19,0	Д
DAF 95.XF 430 (6L-12,58-428-16M)	16,5	Д

DAF 95.480 (6L-12,58-483-16M)	18,6	Д
MAN 19.463 FLS (6L-12,816-460-16M)	16,0	Д
MAN 19.372 (6L-11,961-370-16M)	17,0	Д
MAN 26.413 TGA (6L-11,967-410-16M)	19,7	Д
MAN 26.414 (6L-11,967-410-16M)	16,6	Д
MAN 26.463 FNLS (6L-12,861-460-16M)	17,0	Д
MAN F 2000 334 DFAT (с п/п SP-240) (6L-11,967-410-16M)	22,3	Д
MAN TGA 18.350 (6L-10,518-350-16M)	15,5	Д
Volvo FH 12 (6L-12,0-405-14M)	15,7	Д
Volvo FH 12/380 (6L-12,13-380-14M)	15,0	Д
Volvo FH 12/420 (6L-12,13-420-14M)	16,5	Д

Функциональный анализ расхода топлива автомобиля включает оценку его изменений при скорости перемещения от минимальной до максимальной. Для точной апробации топливной экономичности транспортное средство проходит тестирование на идеально подготовленном сегменте дороги. Этот сегмент должен обладать ровной горизонтальной поверхностью без изгибов, с асфальтобетонным покрытием, протяженностью не менее 5 км. Важно, чтобы тестовый участок имел установленную длину, что обеспечивает точность замеров – не менее 1 км. При измерении экономичности потребления топлива в условиях лаборатории и на внедорожных испытаниях применяют метрическую систему, указывающую расход в литрах на 100 км пути. Для расчёта данного индикатора используется определённая формула.

При анализе энергоэффективности транспортных средств в динамике городской эксплуатации ключевыми показателями становятся данные о потреблении топлива в условиях реального движения и имитации урбанистической среды. Оценка аэродинамических и рулевых характеристик выполняется путём адаптации скоростных пределов: для легковых авто предвидится модификация скорости в диапазоне от 30 до 120 км/ч с интервалом в 10 км/ч, в то время как для грузовиков – от 20 до 80 км/ч при аналогичном интервале. Фиксированные данные о вакууме и скорости вращения коленвала под различными нагрузками и при различных скоростях служат основой для моделирования фактической эксплуатации автомобиля на динамометрическом стенде.

Разработано ПО [5], основная задача которого состоит в мониторинге расхода топлива и создании аналитических графиков для их анализа. Этот



фреймворк разработан для определения стандартов потребления топлива и визуализации этой информации через графики, которые потом подвергаются детальному анализу. В коде программы определяются такие элементы, как расход топлива на единицу пробега для легкового автомобиля без дополнительного веса, стандарт потребления для выполнения транспортных операций, объем выполненной транспортной работы и корректирующий

коэффициент к базовому стандарту расхода. Во время эксплуатации ПО отображает графики, демонстрирующие линейную зависимость между исходными данными и финальными результатами расчетов стандартов потребления топлива без использования системы кондиционирования. Данное программное решение находит применение в автопарке транспортных средств марки MAN (рисунки 1-5).

Рис. 1 – Форма ввода данных программы
Fig. 1 – Program data entry form

Рис. 2- Заполненная Форма ввода данных программы
Fig. 2 - Filled-out Program Input Form

Distance	WithoutClimateControl
0	0.013
100	29.153
200	58.293
300	87.433
400	116.573
500	145.713
600	174.853
700	203.993
800	233.133
900	262.273
1000	291.413

Рис. 3 – Автоматически заполняемая сводная таблица расчетных показателей
Fig. 3 – Automatically filled summary table of calculated indicators

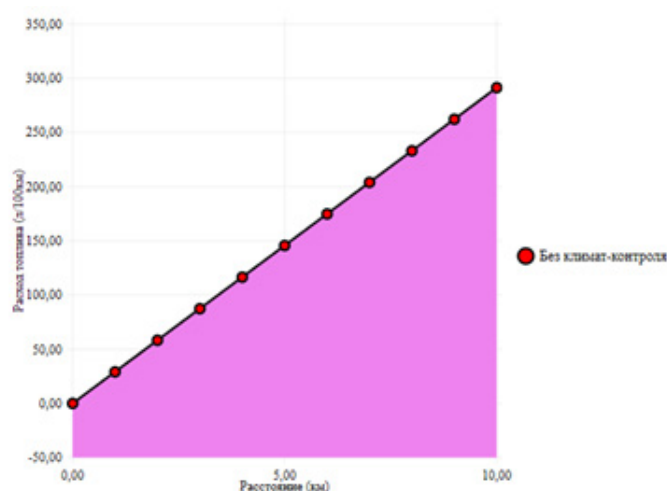


Рис. 4 – Интерфейсная форма визуализации зависимости расхода топлива от расстояния
Fig. 4 – Interface form for visualizing the dependence of fuel consumption on distance

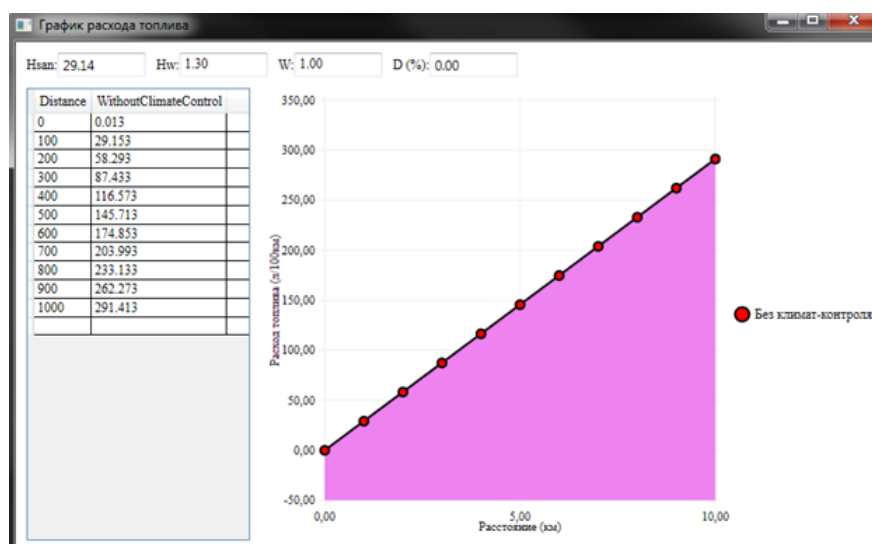


Рис. 5 – Интерфейсная форма основного окна с выводом всей информации, производимой программой
Fig. 5 – Interface form of the main window with the output of all information produced by the program

Эти коэффициенты вносят коррективы, адаптируя основные значения к конкретным условиям использования автопарка и учитывая эксплуатационные аспекты, не охваченные исходными нормативами. Представленное руководство детализирует методики расчета и коррекции стандартных

показателей расхода топлива для гарантирования экономичности и повышения эффекта использования топлива в автотранспортной сфере.

В документе [3] изложено, что автомобильным транспортным компаниям предоставилась опция выбора и применения модифицированных стан-



дартных коэффициентов, охватывающих доплаты и уменьшения, соответствующие фактическим условиям эксплуатации транспорта, с соблюдением максимально допустимых пределов [1].

В холодное время года эксплуатация автомобилей приводит к увеличению потребления топлива: в условиях относительно теплого климата южных регионов этот рост составляет около 5 %, в более холодных условиях северных областей – в среднем 15 %, при крайне низких температурах, характерных для арктических зон, – до 20 %, тогда как в остальных частях государства зафиксирован повышенный расход на уровне 10 %. В частности, в северных территориях, входящих в состав Сибирского Федерального округа, отмечается схожее увеличение потребления топлива на отметке в 20 %.

В условиях городского движения, на пересеченной местности, при транспортировке тяжёлых грузов, когда необходимо снижать скорость, потребление горючего возрастает. На скоростных трассах вне городских районов с качественным дорожным покрытием эффективность использования топлива повышается, позволяя сокращать его расход почти на 15 %.

В рамках научного проекта проведен глубокий разбор вопросов [2], связанных с эксплуатацией автомобилей. Выполнено тщательное выделение и анализ различных режимов использования автомобилей, учитывая широкий спектр природных и климатических условий, с целью выявления основных факторов, влияющих на эффективность использования топлива и обоснованность экономических затрат на автотранспорт.

Также анализировались зарубежные методы оценки и стандартизации потребления топлива. Выяснилось, что зарубежные принципы и стандарты экономичности топлива имеют ключевое значение для разработки эффективных стратегий в управлении автопарком.

В рамках научного проекта были разработаны методы установления стандартов потребления топлива и внедрена система контроля за соблюдением этих норм в автопарке. Кроме того, проведена оптимизация указанных стандартов, что привело к улучшению эффективности использования топлива и сокращению затрат на его приобретение.

Заключение

На основании анализа полученных данных следует подчеркнуть необходимость продолжения исследований для повышения топливной эффективности автомобильного транспорта, принимая во внимание региональные эксплуатационные особенности. Разработка и совершенствование

методик для точного определения и стандартизации потребления топлива обещают значительное увеличение экономической выгоды и экологической безопасности автотранспорта в контексте его текущего использования.

Список источников

1. Определение удельного электрического сопротивления сдвига фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса) / И. А. Успенский, И. А. Юхин, Н. В. Лимаренко [и др.] // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 3(59). – С. 395-405. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-03-42. – EDN QYZCGS.

2. Метод ускоренного диагностирования форсунок на коксование / А. А. Карташов, А. В. Лахно, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 176. – С. 85-95. – DOI 10.21515/1990-4665-176-007. – EDN JNHVV.

3. Расчёт и моделирование параметров индуктора электрического аппарата с несогласованной подвижной частью / Н. В. Бышов, И. А. Успенский, И. А. Юхин, Н. В. Лимаренко // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4(60). – С. 350-369. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-04-34. – EDN RYDDXM.

4. Исследование влияния параметров рабочих тел индуктора на коэффициент мощности / И. А. Успенский, И. А. Юхин, Г. А. Борисов, Н. В. Лимаренко // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 3(55). – С. 360-369. – DOI 10.32786/2071-9485-2019-03-45. – EDN SKDSPZ.

5. Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок / И. А. Успенский, Н. В. Лимаренко, Е. А. Ракул [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 112-119. – DOI 10.36508/RSATU.2021.91.36.016. – EDN QDXZZE.

6. Арженовский, А. Г. Методика расчета показателей работы машинно-тракторных агрегатов при использовании активированного топлива / А. Г. Арженовский, К. В. Коршенко, И. Н. Краснов // Вестник АПК Ставрополя. – 2021. – № 1(41). – С. 4-9. – DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-41-4-9. – EDN AGWWCM.

Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. *Opredeleniye udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya sdviga friktsionnoy nakladki tormoznoy kolodki otnositel'no metallicheskoj plastiny (korpusa) / I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, N. V. Limarenko [i dr.] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. –*



2020. – № 3(59). – S. 395-405. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-03-42. – EDN QYZCGS.

2. Metod uskorenogo diagnostirovaniya forsunok na koksovaniye / A. A. Kartashov, A. V. Lakhno, I. A. Uspenskiy [i dr.] // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – № 176. – S. 85-95. – DOI 10.21515/1990-4665-176-007. – EDN JNHQVV.

3. Raschot i modelirovaniye parametrov induktora elektricheskogo apparata s nesoglasovannoy podvizhnoy chast'yu / N. V. Byshov, I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, N. V. Limarenko // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2020. – № 4(60). – S. 350-369. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-04-34. – EDN RYDDXM.

4. Issledovaniye vliyaniya parametrov rabochikh tel induktora na koeffitsiyent moshchnosti / I. A. Uspenskiy, I. A. Yukhin, G. A. Borisov, N. V. Limarenko // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2019. – № 3(55). – S. 360-369. – DOI 10.32786/2071-9485-2019-03-45. – EDN SKDSPZ.

5. Veroyatnostnaya model'prognozirovaniya iznosa tormoznykh kolodok / I. A. Uspenskiy, N. V. Limarenko, Ye. A. Rakul [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2021. – T. 13, № 3. – S. 112-119. – DOI 10.36508/RSATU.2021.91.36.016. – EDN QDXZZE.

6. Arzhenovskiy, A. G. Metodika rascheta pokazateley raboty mashinno-traktornykh agregatov pri ispol'zovanii aktivirovannogo topliva / A. G. Arzhenovskiy, K. V. Korshenko, I. N. Krasnov // Vestnik APK Stavropol'ya. – 2021. – № 1(41). – S. 4-9. – DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-41-4-9. – EDN AGWWCM.

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

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Авто-тракторная техника и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева», yuival@rambler.ru

Синицын Павел Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», Pasha.Sinitsin@yandex.ru

Юмаев Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Технологии металлов и ремонта машин», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева», yumaeb@yandex.ru

Филишин Олег Владимирович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», olegfil93@mail.ru

Мошнин Андрей Михайлович, аспирант кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», Moshnin1999@ya.ru

Author Information

Yukhin Ivan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Tractor Equipment and Heat Power Engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yuival@rambler.ru

Sinitsyn Pavel S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Pasha.Sinitsin@yandex.ru

Yumaev Dmitry M., Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, yumaeb@yandex.ru

Filyushin Oleg V., Candidate of Technical Sciences, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, olegfil93@mail.ru

Moshnin Andrey M., Postgraduate student, of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Moshnin1999@ya.ru

Статья поступила в редакцию 01.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 10.06.2025.

The article was submitted 01.04.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 0.06.2025.