



ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

Том 64 №3 2026

Vol. 64 N3 2026

Научно-практический журнал «Технический сервис машин» является правопреемником издания «Труды ГОСНИТИ», основанного в 1963 году. Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Scientific-practical journal «Machinery technical service» was founded in 1963. The founder and publisher is the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (FSBSI FSAC VIM).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 г.

Proceedings are registered with the Federal Service for Supervision in the Area of Communications of Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor) ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018.

Адрес издателя, редакции и типографии:
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, стр. 1.

Actual address of the publisher, editorial office and printing house:
109428, Moscow, 1 st Institutsky pass., 5. bld. 1.

Тел. 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: tsmvim@mail.ru; valpal-1938@mail.ru

Phone: 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: tsmvim@mail.ru; valpal-1938@mail.ru

Свидетельство о регистрации:
ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 года

Certificate of registration:
ПИ №ФС77-72932 from 25.05.2018.

Над номером работали:

Executive editrs:

Горелова Л.А.,

Gorelova L.A.,

Нурбагандова Р.М.

Nurbagandova R.M.

Выходит 4 раза в год (Свободная цена).

Published 4 times a year (open price).

Дата выхода в свет 15.09.2026 г.

Publication date 15.09..2026

Формат 60 x 84/8. Объем 14, 5 п.л.,

The format is 60x84 / 14,5.

Тираж 100 экз., заказ 965

Circulation 100 copies.

Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Printed in the printing house of the FSBSI FSAC VIM

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Черноиванов Вячеслав Иванович

доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ФНАЦ ВИМ
(главный редактор, председатель редакционной коллегии)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Денисов Вячеслав Александрович

доктор технических наук, заведующий отделом
ФНАЦ ВИМ (заместитель председателя)

Соловьев Сергей Александрович

доктор технических наук, профессор, академик РАН,
заместитель главного ученого секретаря президиума РАН

Дорохов Алексей Семенович

доктор технических наук, профессор, академик
РАН, заместитель директора ФНАЦ ВИМ

Зиганшин Булат Гусманович

доктор технических наук, профессор, проректор
по учебно-воспитательной работе, заведующий кафедрой,
Казанский ГАУ

Кешуов Сейтказы Асылсеитович

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент,
академик Национальной академии наук РК, генеральный директор
Казахского НИИМЭСХ, Республика Казахстан

Ценч Юлия Сергеевна

доктор технических наук, член-корреспондент РАН, главный
научный, сотрудник, заместитель директора ФНАЦ ВИМ

Спицын Иван Алексеевич

доктор технических наук, профессор кафедры
«Технический сервис машин», Пензенский ГАУ

Попов Владимир Дмитриевич

доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный
руководитель ФГБНУ «Институт агроинженерных и
экологических проблем сельскохозяйственного производства»

Петухов Сергей Валентинович

доктор физико-математических наук, кандидат биологических
наук, заведующий лабораторией исследований биомеханических
систем, ИМАШ РАН

Витяев Евгений Евгеньевич

доктор физико-математических наук, ведущий научный
сотрудник лаборатории теории вычислимости и прикладной
логики, Институт математики им. С.Л. Соболева, Новосибирск

Ерофеев Михаил Николаевич

доктор технических наук, профессор, советник директора,
заведующий лабораторией цифровых методов управления
жизненным циклом изделий машиностроения, ИМАШ РАН

Бабкин Константин Анатольевич

президент ассоциации «Россельмаш», президент промышленного
союза «Новое Содружество», член бюро центрального совета
Союза машиностроителей России

Утениязов Пулат Айбатович

доктор философии по техническим наукам,
главный специалист, Научно-исследовательский
институт механизации сельского хозяйства,
Республика Узбекистан

Фандо Роман Алексеевич

доктор исторических наук, профессор, председатель
Российского национального комитета по истории и
философии науки и техники, директор ИИЕТ РАН

EDITOR-IN-CHIEF:

Chernoivanov Vyacheslav Ivanovich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences,
Chief Researcher of the FSAC VIM
(Editor-in-Chief, Chairman of the Editorial Board)

EDITORIAL BOARD:

Denisov Vyacheslav Aleksandrovich

Dr.Sc.(Eng.), Head of Department at the FSAC VIM.
(Deputy Editor-in-Chief)

Solovyev Sergey Aleksandrovich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences,
Deputy Chief Scientific Secretary of the Presidium of the Russian
Academy of Sciences

Dorokhov Alexey Semenovich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian
Academy of Sciences, Deputy Director of the FSAC VIM

Ziganshin Bulat Gusmanovich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Vice-Rector for Educational
Affairs, Head of Department, Kazan SAU

Keshuov Seytkazy Asylseitovich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of NAS
of Kazakhstan, General Director KRIMEA, Republic of Kazakhstan

Tsench Yulia Sergeevna

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of the Russian Academy
of Science, Chief Researcher, Deputy Director of the FSAC VIM

Spitsyn Ivan Alekseevich

Dr.Sc.(Eng.), Professor of Machine Maintenance
Department, Penza SAU

Popov Vladimir Dmitrievich

Dr.Sc.(Eng.) Professor, academician of RAS, Scientific Supervisor of
the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of
Agricultural Production

Petukhov Sergey Valentinovich

Dr.Sc.(Phys.-Math.), Ph.D.(Bio.), Head of the Research Laboratory of
Biomechanical Systems, Institute of Machine Science of Russian
Academy of Science

Vityaev Evgeniy Evgenevich

Dr.Sc.(Phys.-Math.), Leading Researcher, Laboratory
of Computability Theory and Applied Logic, Institute
of Mathematics named after S.L. Sobolev, Novosibirsk

Erofeev Mikhail Nikolaevich

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Advisor to the Director, Head of the Laboratory
of Digital Methods of Life Cycle Management of Mechanical
Engineering Products, Institute of Machine Science of Russian
Academy of Science

Babkin Konstantin Anatolyevich

President of the Rosspsmash Association, President of the Industrial
Union «New Commonwealth», Member of the Bureau of the Central
Council of the Union of Machine Builders of Russia

Uteniyazov Pulat Aibatovich

Ph.D.(Eng.), Chief Specialist, Scientific Research
Institute of Agricultural Mechanization, Republic
of Uzbekistan

Fando Roman Alekseevich

Dr.Sc.(Hist.), Professor, Chairman of the Russian National Committee
for the History and Philosophy of Science and Technology. Director
of the Federal State Budgetary Institution of Science «Institute of the
History of Natural Science and Technology» named after S.I. Vavilov
of the Russian Academy of Sciences

Журнал «ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН» включен в Перечень изданий, рекомендованных **ВАК РФ** для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 4.3.1 / 5.6.6. Приказ Минобрнауки РФ №118 от 24.02.2021 г.

Журнал включен в Российский индекс цитирования (**РИНЦ**) и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству **AGRIS**. Полные тексты статей размещены на сайте электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>.

Статья, направляемая в журнал для публикации, должна соответствовать основной тематике журнала. Поступивший в редакцию материал проходит двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. Times New Roman через 1,5 интервала, не более 20 страниц. Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – jpg или tif с разрешением 300 dpi, графики, диаграммы – в eps или ai. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул Microsoft Word без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не следует. Ссылки на формулы обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия, имя и отчество автора (ов);
- e-mail автора, контактный телефон;
- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;
- ученая степень, ученое звание автора;
- реферат;
- ключевые слова;

- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследования;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Библиографический список (от 15 источников за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследования, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы. Объем реферата – 200-250 слов.

В реферате нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:

- название статьи;
- место работы автора (ов);
- реферат и ключевые слова;
- названия литературных источников.

Машинный перевод недопустим!

В конец рукописи необходимо включить примечания, в которых разъясняется фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. Приводится на русском и английском языках.

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Адрес для отправления материалов:

e-mail: tsmvim@mail.ru; valpal-1938@mail.ru
109428, Москва, 1-й Институтский проезд,
дом 1, с отметкой «Технический сервис машин»

Телефон для справок: 8 (499) 174-88-11;
8 (495) 371-21-44.

The journal "Technical Service of Machines" is included in the List of Publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation for the publication of the works of applicants for academic degrees of candidate and Doctor of Sciences in the specialties: 4.3.1 / 5.6.6. Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation №118 24.02.2021.

The journal is included in the Russian Scientific Citation Index (RSCI) and in the International information system on agriculture **AGRIS**. The full texts of the articles are available on the website of the electronic library: **<http://elibrary.ru>**.

The article sent to the journal for publication should match to the main theme of the journal. The material received by the editorial office is double-blind peer-reviewed. A negative review is a cause for refusing the publication.

The editorial Board accepts manuscripts and electronic versions of articles typed in Word with fontsize of 14 pt., Times New Roman interlinear interval of 1.5 and not exceeding 20 pages.

The formulas given in the article should have explanations of all the values included in them with the measurement units in SI. Graphic materials should be attached as separate files: photos – jpg or tif with a resolution of 300 dpi, graphics, diagrams – in eps or ai. All graphic materials, drawings and photos should be numbered, signed and have a link in the text.

Simple inline and single-line formulas must be typed in characters in the Microsoft Word formula editor without using special editors. It is not allowed to set part of the formula with symbols, and part in the formula editor. If the formulas are taken from other sources, it is not necessary to give them detailed explanation: the authors of the formulas have already done that, they should not be repeated. Links to notation of the formulas is required. The article should contain no more than 10 formulas, 3-4 illustrations, 3-4 tables, tables must be not larger than 1/2 page.

Each article should contain the following information:

- article title;
- surname, name and patronymic of the author (authors);
- e-mail of the author, contact phone number;
- work place of the author(s) (abbreviations are not allowed), postal address;
- academic degree, academic title of the author;
- abstract;
- keyword;

- bibliographic list.

The article should be structured by specifying the following sections:

- Introduction (relevance);
- Research purpose;
- Materials and methods;
- Results and discussion;
- Conclusions.

Bibliographic list (from 10 sources for the last 5 years) should be prepared in accordance with GOST R 7.05-2008.

Abstract. The abstract is a finished material. The introductory part is minimal. It is necessary to briefly and succinctly reflect the relevance and purpose of research, conditions and schemes of experiments, to present the results (with the obligatory reasoning based on digital material), to formulate conclusions. The size of the abstract – 200-250 words.

Abbreviations and complex formatting elements (such as superscripts and subscripts) should not be used in the abstract.

The next must be translated in English:

- article title;
- work place of the author (s);
- abstract and keywords;
- names of literary sources.

Machine translation is not allowed!

At the end of the manuscript, the authors should include notes that explain the actual contribution of each co-author to the work performed.

Contribution of the authors should be written in Russian and English.

The manuscript should be signed by the authors. The author is legally and otherwise responsible for the content of the article.

If the article do not match with at least one of the listed conditions, it may serve as a basis for refusing the publication.

Address for sending materials:

e-mail: **tsmvim@mail.ru**; valpal-1938@mail.ru
109428, Moscow, 1-st Institutsky Proezd, Building 1, FGBNU FNAC VIM.

With the note "*Machinery technical service*",

Telephone for information: 8 (499) 174-88-11;
8 (495) 371-21-44.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

<i>Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А.</i> Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифрового мониторинга	7
<i>Старостин И.А., Давыдова С.А., Ещин А.В.</i> Уровень технического обеспечения селекционно- семеноводческих организаций	14
<i>Катаев Ю.В., Суконкин В.Ф., Алехина Р.А., Свиридов А.С.</i> Исследование абразивной стойкости полимерных материалов для опор скольжения сельскохозяйственной техники	22
<i>Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Хорт Д.О.</i> Цифровой мониторинг биологических объектов в садоводстве на основе нейронных сетей	28
<i>Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Костомахин М.Н., Данков А.А.</i> Диагностирование насосов коробок передач энергонасыщенных тракторов на основе квадратичных дроссельных шайб и уровня шума . . .	35

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

<i>Ивахненко Н.Н., Бадекин М.Ю., Борулько В.Г., Балабанов В.И., Поручиков Д.В.</i> Эволюция структуры, диффузия и упрочнение наплавки Fe-Cr-C-NbC на стали 65Г при вакуумном отжиге	43
<i>Ведищев С.М., Трифонов Г.И., Глазков Ю.Е., Муатаз Мохаммед Али Раззак</i> Определение оптимальных технологических параметров послойного плазменного оплавления композитного покрытия	53
<i>Кузнецов Ю.А., Яковлев Д.Д., Добычин А.В., Грибакин А.А., Кравченко И.Н., Пичев В.С.</i> Трибологическая оценка соединений гидравлических шестеренных насосов, восстановленных HVOF-методом	59

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

<i>Саяпин А.С., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В.</i> Перспективы развития встроенных интеллектуальных диагностических систем сельскохозяйственных машин	67
<i>Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Божко И.В., Червяков И.В. Пахомов В.И.</i> Определение рациональной конфигурации семянправителя селекционной сеялки	76

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

<i>Савченко М.А., Дрямов С.Ю.</i> Становление системы Гостехнадзора: от машинно-тракторных станций к надзору за техническим состоянием техники	83
<i>Ценч Ю.С., Чавдаров А.В., Попов Н.А.</i> Развитие автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК	92
<i>Курсанов В.В., Ценч Ю.С., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Баишева Р.А.</i> Научное наследие основоположников исследований по механизации и автоматизации процессов в молочном животноводстве	100

MAINTENANCE. REPAIR

<i>Kataev Y.V., Tishaninov I.A., Gradov E.A.</i> Management of technical condition of agricultural machinery using digital monitoring	7
<i>Starostin I.A., Davydova S.A., Eeschin A.V.</i> The level of technical support for seed breeding organizations	14
<i>Kataev Y.V., Sukonkin V.F., Alekhina R.A., Sviridov A.S.</i> Study of abrasive resistance of polymeric materials for sliding bearings of agricultural machinery	22
<i>Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Khort D.O.</i> Digital monitoring of biological objects in horticulture based on neural networks	28
<i>Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Dankov A.A.</i> Diagnosing high-power tractor transmission pumps based on square throttle orifices and noise level	35

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS

<i>Ivakhnenko N.N., Badekin M.Yu., Borulko V.G., Balabanov V.I., Poruchikov D.V.</i> Structural evolution, diffusion and hardening of the Fe-Cr-C-NbC deposits on 65G steel during vacuum annealing	43
<i>Vedishchev S.M., Trifonov G.I., Glazkov Yu.E., Muataz Mohammed Ali Razzak.</i> Determination of optimal technological parameters for plasma-layered composite coating	53
<i>Kuznetsov Yu.A., Yakovlev D.D., Dobyichin A.V., Gribakin A.A., Kravchenko I.N., Pichev V.S.</i> Tribological evaluation of hydraulic gear pump connections restored by the HVOF method	59

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

<i>Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V.</i> Prospects for the development of built-in intelligent diagnostic systems for agricultural machinery	67
<i>Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Bozhko I.V., Chervyakov I.V. Pakhomov V.I.</i> Determining the rational configuration of the seed guide of a breeding seeder	76

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

<i>Savchenko M.A., Dryamov S.Yu.</i> The development of the Gostechnadzor system: from machine and tractor stations to oversight of the technical condition of machinery	83
<i>Tsench Yu.S., Chavdarov A.V., Popov N.A.</i> Development of automated systems for restoration of parts in agriculture	92
<i>Kirsanov V.V., Tsench Yu.S., Pavkin D.Y., Nikitin E.A., Baisheva R.A.</i> The scientific legacy of the pioneers of research into the mechanization and automation of dairy farming processes	100

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА



*Юрий Владимирович Катаев, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: ykataev@mail.ru;
Игорь Александрович Тишанинов, младший научный сотрудник;
Евгений Анатольевич Градов, младший научный сотрудник*

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

Реферат. Рассмотрели вопросы по управлению техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением систем цифрового мониторинга. Оценили комплекс технических и программных решений, устройство по сбору контролируемых параметров и аналитическое программное обеспечение, позволяющие в режиме реального времени отслеживать ключевые параметры работы трактора John Deere 8420. (Цель исследования) Разработать метод управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники на основе цифрового мониторинга для повышения ее надежности и экономической эффективности. (Материалы и методы) Показали, что программно-аппаратный комплекс цифрового мониторинга включает в себя датчики физических параметров (температуры, давления, вибрации, нагрузки, расхода топлива и др.), модуль сбора и передачи данных (телематический терминал), канал беспроводной связи, серверную платформу для хранения и обработки информации. Применили для сбора данных стандартизированные интерфейсы бортовой электроники тракторов и внешние измерительные модули. Осуществили аналитическую обработку с помощью специализированного программного обеспечения, реализующего алгоритмы предварительной фильтрации, нормализации данных. Для прогнозирования технического состояния использовали методы машинного обучения: нейронные сети (рекуррентные и свёрточные), алгоритмы классификации и регрессии, а также модели временной динамики. (Результаты и обсуждение) Подтвердили эффективность перехода от регламентированного технического обслуживания к стратегии «по фактическому состоянию», позволяющей минимизировать внеплановые простои, сократить избыточные регламентные работы, увеличить общую эксплуатационную готовность парка на 10-15 процентов за счет оперативного получения диагностической информации. (Выводы) Цифровой мониторинг технического состояния трактора позволяет повысить его эксплуатационную эффективность на 12-16 процентов, увеличить межремонтную наработку на 10-15, сократить затраты на ремонт до 25 процентов, уменьшить частоту отказов узлов и агрегатов в 2-3 раза.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, цифровой мониторинг, техническое состояние, датчики, телематический терминал, нейронные сети.

Для цитирования: Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифрового мониторинга // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 7-13. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-7-13. EDN: ACXJSP.

Scientific article

MANAGEMENT OF TECHNICAL CONDITION OF AGRICULTURAL MACHINERY USING DIGITAL MONITORING

*Yuriy V. Kataev, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Igor A. Tishaninov, junior researcher;
Evgeniy A. Gradov, junior researcher*

Abstract. The issues of managing the technical condition of agricultural machinery using digital monitoring systems were considered. We evaluated a set of technical and software solutions, a device for collecting controlled parameters and analytical software that allows real-time tracking of key parameters of the John Deere 8420 tractor. (Research purpose) The research purpose is developing a method for managing the technical condition of agricultural machinery based on digital monitoring to increase its reliability and economic efficiency. (Materials and methods) It was shown that the software and hardware complex of digital monitoring includes sensors of physical parameters (temperature, pressure, vibration, load, fuel consumption, etc.), a data collection and transmission module (telematic terminal), a wireless communication channel, a server platform for storing and processing information. Standardized on-board electronics interfaces of tractors and external measuring modules were used to collect data. We carried out analytical processing using specialized software that implements algorithms for pre-filtering, data normalization. To predict the technical state, machine learning methods were used: neural networks (recurrent and convolutional), classification and regression algorithms, as well as temporal dynamics models. (Results and discussion) Confirmed the effectiveness of the transition from regulated maintenance to the strategy “on the actual condition”, which allows to minimize unscheduled downtime, reduce redundant routine work, increase the overall operational readiness of the fleet by 10-15 percent due to prompt receipt of diagnostic information. (Conclusions) Digital monitoring of the technical condition of the tractor allows to increase its operational efficiency by 12-16 percent, increase inter-repair work by 10-15, reduce repair costs by 25 percent, reduce the failure rate of components and assemblies by 2-3 times.

Keywords: agricultural machinery, digital monitoring, technical condition, sensors, telematics terminal, neural networks.

For citation: Kataev Yu.V., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Management of technical condition of agricultural machinery using digital monitoring. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N3. 7-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-7-13. EDN: ACXJSP.

В современных условиях развития агропромышленного комплекса (АПК) повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники (СХТ) становится ключевым фактором конкурентоспособности сельхозпроизводителей [1, 2].

Традиционные подходы к техническому обслуживанию, основанные на жестко регламентированных графиках, зачастую не учитывают реальное состояние машин, что приводит к избыточным затратам, внеплановым простоям и преждевременному износу узлов и агрегатов [3].

В этой связи особую актуальность приобретает внедрение цифровых технологий при мониторинге технического состояния СХТ, что позволяет перейти от планово-предупредительной системы обслуживания к стратегии управления по фактическому состоянию сельскохозяйственной техники (СХТ) [4].

Развитие интернета вещей (IoT), сенсорики и методов искусственного интеллекта открывают новые возможности для непрерывного контроля параметров работы машин, ранней диагностики неисправностей и прогнозирования динамики их технического состояния [5].

Применение таких решений дает возможность оптимизировать затраты на эксплуатацию, минимизировать простои, увеличить межремонтные интервалы и в целом повысить надежность и рентабельность использования СХТ.

Цель исследования – разработать метод управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники на основе цифрового мониторинга для повышения ее надежности и экономической эффективности.

Материалы и методы. В исследовании применено разработанное диагностическое устройство, подключаемое к электронному блоку управления (ЭБУ) трактора через CAN-шину для снятия эксплуатационных параметров топливной аппаратуры [6].

Устройство осуществляет прямой обмен данными с бортовой электроникой трактора, получая в режиме реального времени ключевые показатели: давление в топливной рампе, температуру и расход топлива, пульсации давления, параметры впрыска, а также сопутствующие данные (обороты двигателя, температуру охлаждающей жидкости, состав отработавших газов и др.). Собранные сигналы проходят

первичную обработку внутри устройства. Выполняется фильтрация высокочастотных помех, нормализация значений, синхронизация по времени и агрегация показателей. Далее данные передаются посредством встроенного коммуникационного модуля (*GSM/LTE + LoRaWAN*) в облачную платформу для углубленного анализа.

В основе аналитической части лежит нейронная сеть, построенная на архитектуре многослойного персептрона с обратным распространением ошибки. На вход модели поступают нормированные параметры, полученные через *CAN*-шину, причем сеть обучена как на штатных режимах работы, так и на типовых неисправностях (засорение форсунок, подсос воздуха, ухудшение качества топлива, износ ТНВД) [7].

Обучение проводили на размеченном наборе данных с применением кросс-валидации, оптимизацией параметров (число слоев, количество нейронов, скорость обучения), использованием среднеквадратичной ошибки в качестве функции потерь и алгоритма *Adam* для оптимизации. Тестирование нейронной сети выполняли на независимом наборе данных; оценку качества осуществляли по метрикам точности (*accuracy*), полноты (*recall*), *F1*-меры и средней абсолютной ошибки (*MAE*).

Для интерпретации результатов применяли методы визуализации активаций и анализа важности признаков, что позволило выявить наиболее значимые входные параметры для диагностики конкретных неисправностей. Интеграция диагностического устрой-

ства с нейронной сетью в единую систему мониторинга обеспечивает непрерывный контроль состояния топливной аппаратуры, автоматическую классификацию неисправностей, прогнозирование остаточного ресурса компонентов и формирование рекомендаций по обслуживанию, тем самым создавая технологическую основу для перехода от регламентного обслуживания к управлению по фактическому состоянию топливной системы сельскохозяйственной техники [8].

Структуру системы цифрового мониторинга топливной аппаратуры представили в *таблице 1*.

Диагностическое устройство, подключаемое к *CAN*-шине трактора, представляет собой компактный аппаратный модуль для сбора и первичной обработки эксплуатационных данных топливной аппаратуры. В его состав входят блок датчиков, которые контролируют давление в топливной рампе, температуру и расход топлива, вибрацию, пульсации давления, параметры впрыска, микроконтроллер с *CAN*-интерфейсом для взаимодействия с ЭБУ и коммуникационный модуль (*GSM/LTE + LoRaWAN*) для передачи данных [9].

Устройство считывает через *CAN*-шину ключевые параметры работы техники, включая обороты двигателя, температуру охлаждающей жидкости, состав отработавших газов и др., после чего выполняет первичную обработку информации (фильтрует помехи). Технические характеристики устройства: частота опроса датчиков составляет 1-10 Гц, погрешность измерений находится в пределах $\pm 1-3\%$, ско-

Таблица 1

Table 1

Структура системы цифрового мониторинга топливной аппаратуры
Structure of the digital fuel equipment monitoring system

Компонент	Состав / параметры	Функции	Ключевые показатели
Диагностическое устройство	Датчики (давление, температура, расход, вибрация); <i>CAN</i> -интерфейс; <i>GSM/LTE + LoRaWAN</i>	Сбор и первичная обработка данных, передача в облако	Частота опроса: 1-10 Гц; погрешность датчиков: 1-3%
<i>CAN</i> -шина	Стандарт <i>J1939/ISO 11898</i>	Обмен данными с ЭБУ трактора	Скорость: до 500 кбит/с; задержка: < 5 мс
Облачная платформа	Серверное ПО, БД	Прием, хранение, предварительная обработка данных	Объем хранилища: от 10 ГБ; время обработки: < 1 с
Нейронная сеть	Многослойный персептрон (3-5 слоев)	Диагностика, прогнозирование, рекомендации	Точность (<i>accuracy</i>): > 92%; <i>F1</i> мера: > 0,9
База данных для обучения	5000+ размеченных записей	Обучение и валидация модели	Соотношение обучающей/тестовой выборки: 80/2 <i>Newton</i>
Модуль визуализации	Графики, тепловые карты, отчеты	Интерпретация результатов	Время генерации отчета: < 3 с; 5-7 ключевых индикаторов

Примечание: ЭБУ – электронный блок управления; БД – база данных; Гц – герц; ГБ – гигабайт; мс – миллисекунды; кбит/с – килобит в секунду

рость обмена данными по *CAN*-шине достигает 500 кбит/с, задержка передачи данных варьируется в диапазоне 100-500 мс, а доступность связи обеспечивается на уровне более 99%.

Такое решение позволяет в режиме реального времени контролировать состояние топливной системы, оперативно выявлять отклонения и формировать основу для перехода к обслуживанию техники «по фактическому состоянию» с использованием интеллектуальных методов анализа данных [10].

Диагностическое устройство по мониторингу технического состояния СХТ через *CAN*-шину представили на рисунке 1.



Рис. 1. Диагностическое устройство по мониторингу технического состояния СХТ через *CAN*-шину

Fig. 1. Diagnostic device for monitoring the technical condition of the vehicle via *CAN* bus

Проведенные исследования включают тестирование стабильности работы устройства в различных эксплуатационных условиях: при перепадах температур, вибрациях, воздействии электромагнитных помех. Также изучается точность и скорость передачи данных по *CAN*-шине, совместимость с разными моделями техники и возможность интеграции с системами удаленного мониторинга. Результаты этих исследований помогут усовершенствовать алгоритмы диагностики, повысить надежность работы сельскохозяйственной, строительной и грузовой техники, а также разработать новые методики предиктивного обслуживания на основе анализа больших объемов эксплуатационных данных [11, 12].

Расположение устройства в кабине обеспечивает удобный доступ для проведения диагностики, считывания отчетов и настройки параметров. Компактные размеры и модульность позволяют быстро установить или демонтировать блок при необходимости. Расположение устройства в кабине трактора *John Deere 8420* при проведении экспериментальных исследований представили на рисунке 2.



Рис. 2. Расположение устройство в кабине трактора *John Deere 8420*

Fig. 2. Location of the device in the tractor cabin *John Deere 8420*

Результаты и обсуждение. В результате анализа работы системы мониторинга трактора *John Deere 8420* с использованием нейронной сети получены данные, демонстрирующие эффективность машинного обучения при оценке состояния ключевых узлов техники. Система принимает на вход четыре основных параметра: мгновенный расход топлива (*Can. fuel. level*, л/ч), температуру охлаждающей жидкости (*Can. engine. temperature*, °C), частоту вращения коленчатого вала (*Can. engine. rpm*, об/мин) и напряжение аккумуляторной батареи (*Can. I. V*).

Эти данные поступают от электронного блока управления трактора и служат основой для дальнейшего анализа. В процессе обработки информация проходит через три скрытых слоя нейронной сети ($a1, a2, a3$), где происходит взвешивание и трансформация входных значений. Каждый слой содержит набор числовых коэффициентов (например, для $a1$: 0.417, 0.778, 0.778, 0.917), отражающих значимость каждого параметра для итогового решения.

Промежуточные вычисления позволяют выявить нелинейные зависимости между входными данными и состоянием системы. Финальный нейрон агрегирует результаты работы скрытых слоев и выдает прогноз о текущем состоянии трактора.

Результаты работы нейронной сети представлены в виде двух диапазонов значений: номинальный (допускаемый) – зеленые значения (0.171, 0.345, 0.173, 0.464), соответствующие штатной работе техники; предельный (аварийный) – красные значения (0.89, 0.92, 0.97, 1), сигнализирующие о критических отклонениях, требующих немедленного вмешательства. Используемую архитектуру рекуррентной нейронной сети (НС) представили на рисунке 3.

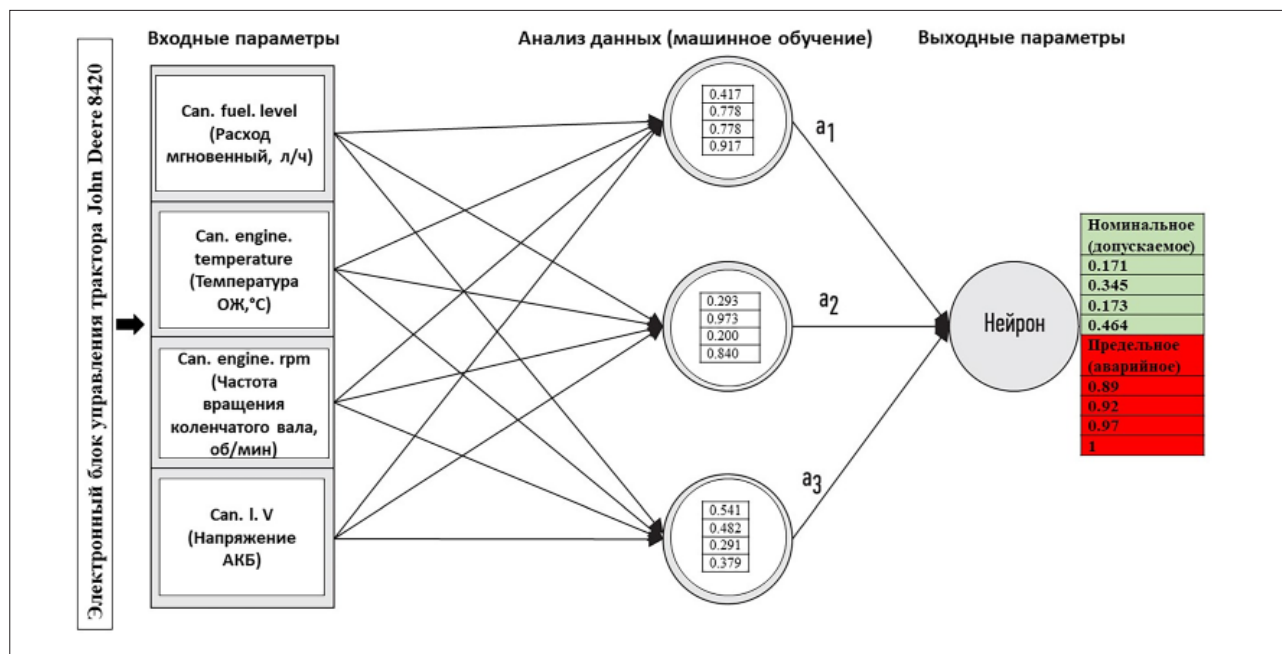


Рис. 3. Архитектура рекуррентной нейронной сети / Fig. 3. Recurrent neural network architecture

Результаты мониторинга параметров трактора *John Deere 8420* на основе данных CAN-шины и анализа нейронной сети показали в таблице 2.

Нейронная сеть не просто фиксирует текущие параметры, а анализирует их динамику и взаимосвязь. Например, сочетание высокого напряжения АКБ с аномальными оборотами двигателя может указывать на проблемы с генератором или регулятором напряжения, даже если каждый параметр в отдельности находится в пределах нормы. Таким образом, внедрение нейронной сети в систему мониторинга трактора *John Deere 8420* доказало свою эффективность. Технология позволяет не только предотвращать аварийные ситуации, но и оптимизировать график технического обслуживания, снижая простои и эксплуатационные расходы. Изменение параметров трактора (*Can. fuel. level* (расход мгновенный, л/ч), *Can. engine. temperature* (температура охлаждающей жид-

кости, °C), *Can. engine. rpm* (частота вращения коленчатого вала, об/мин), *Can. I. V* (напряжение АКБ)) во времени представили на рисунке 4.

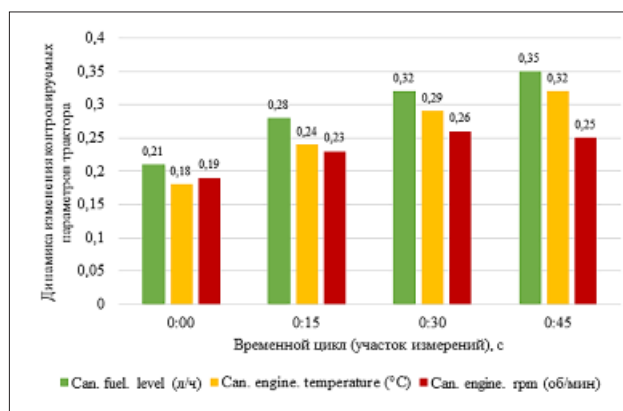


Рис. 4. Изменение параметров трактора на участке измерений во времени

Fig. 4. Changes in tractor parameters in the measurement area over time

Таблица 2

Table 2

Результаты мониторинга параметров трактора *John Deere 8420* на основе данных CAN-шины и анализа нейронной сети
Results of monitoring the parameters of the *John Deere 8420* tractor based on CAN bus data and neural network analysis

Параметр	Текущее значение	Номинальный (допускаемый) диапазон	Предельный (аварийный) диапазон	Статус
<i>Can. fuel. level</i> (расход мгновенный, л/ч)	0,350	0,171-0,464	0,89-1,00	В норме (зеленый)
<i>Can. engine. temperature</i> (температура охлаждающей жидкости, °C)	0,320	0,171-0,464	0,89-1,00	В норме (зеленый)
<i>Can. engine. rpm</i> (частота вращения коленвала, об/мин)	0,250	0,173-0,464	0,92-1,00	В норме (зеленый)
<i>Can. I. V</i> (напряжение АКБ)	0,380	0,345-0,464	0,97-1,00	В норме (зеленый)
Выходной сигнал нейронной сети (агрегированный)	0,375	≤ 0,464	≥ 0,89	В норме (зеленый)

Система успешно различает нормальное и аварийное состояние трактора, оперативно выявляя потенциальные неисправности, например, рост температуры охлаждающей жидкости или резкое увеличение расхода топлива, что сразу классифицируется как предельное значение, это позволяет оператору своевременно принять меры. Ключевым преимуществом рассмотренного подхода является возможность раннего предупреждения о неисправностях.

Выводы. Нейронная сеть успешно выполняет предиктивную диагностику, формируя четкий сигнал о штатном или аварийном состоянии техники. Агрегированный выходной сигнал сети составил 0,375, что существенно ниже порогового значения 0,464 для номинального режима и далеко от предельной границы 0,89. Это позволяет перейти к обслуживанию «по состоянию» и сократить простои на 15-20%, а также снизить затраты на техническое обслуживание на 10-15% за счет оперативного контроля технического состояния СХТ.

Цифровой мониторинг технического состояния трактора позволяет существенно повысить его эксплуатационную эффективность на 12-16%, межремонтную наработку увеличить на 10-15%, затраты на ремонт снизить до 25%, а частоту отказов сложных узлов и агрегатов сократить в два-три раза.

Библиографический список

1. Лушпа Е.Ю., Кравченко И.Н., Спирыгин В.В. и др. Математическая модель функционирования элемента, влияющего на безопасность эксплуатации сложной технической системы // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2025. N3. С. 67-78. DOI: 10.52261/02346206_2025_3_67.
2. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2023. N3(309). С. 2-12. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-3-2-11.
3. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В. и др. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // Техника и оборудование для села. 2021. N9(291). С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.
4. Саяпин А.С., Петрищев Н.А., Костомахин М.Н. и др. К вопросу разработки средств диагностирования энергонасыщенных тракторов для использования стратегии TOP по состоянию // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2025. N3. С. 20-25. DOI: 10.31044/1684-2561-2025-0-3-20-25.
5. Федоренко В.Ф., Таркинский В.Е. Цифровые беспроводные технологии для оценки показателей сель-

скохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. N1. С. 10-15. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-10-15.

6. Катаев Ю.В. Контроль технического состояния двигателей сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Технический сервис машин. 2025. Т. 63. N3. С. 7-13. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-7-13.

7. Баширов Р.М., Сафин Ф.Р., Неговора А.В. Теоретическое обоснование оперативного метода диагностирования дизельных двигателей и их топливной аппаратуры // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. N3(71). С. 90-95. DOI: 10.31563/1684-7628-2024-71-3-90-96.

8. Севрюгина Н.С., Арженовский А.Г., Апатенко А.С. Предотвращение отказов двигателя внутреннего сгорания путем включения цифрового аналитического модуля глубокого обучения // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2025. N3. С. 101-107. DOI: 10.31857/S0235711925030136.

9. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Костомахин М.Н. и др. Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. N5. С. 51-56. DOI: 10.31857/S2500262724050102.

10. Жиздюк А.А., Буйлов В.Н., Чумакова С.В. и др. Применение цифровых двойников технологических машин в АПК при эксплуатации и сервисном обслуживании // Агроинженерия. 2025. Т. 27. N1. С. 20-25. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25.

11. Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И. и др. Перспективные направления цифровизации в сфере технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N4(153). С. 18-25. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-4-18-25.

12. Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Пыжов В.В. Цифровизация и автоматизация восстановительных технологических процессов в сельскохозяйственном машиностроении России // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N1. С. 110-116. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-1-110-116.

References

1. Lushpa E.Yu., Kravchenko I.N., Spiryagin V.V., et. al. Mathematical model of an axial-flow compressor with separation of abrasive particles. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2025. N3. 67-78 (In Russian). DOI: 10.52261/02346206_2025_3_67.
2. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., et. al. Scientific and technical achievements of agricultural engineering organizations in the context of digital

transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N3(309). 2-12 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-3-2-11.

3. Chernoi Ivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., et. al. A new strategy for the maintenance and repair of machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N9(291). 33-36 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.

4. Sayapin A.S., Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., et. al. On development issue of diagnostic devices of energy-saturated tractors for use of TOR strategy. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2025. N3. 20-25 (In Russian). DOI: 10.31044/1684-2561-2025-0-3-20-25.

5. Fedorenko V.F., Tarkivsky V.E. Digital wireless technology to measure agricultural performance. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 10-15 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-10-15.

6. Kataev Yu.V. Control of the technical condition of agricultural machinery engines using digital technologies. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 7-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-7-13.

7. Bashirov R.M., Safin F.R., Negovora A.V. Theoretical justification of the operational method for diagnosing diesel engines and their fuel equipment. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2024. N3(71). 90-95 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2024-71-3-90-96.

8. Sevryugina N.S., Arzhenovsky A.G., Apatenko A.S. Prevention of internal combustion engine failures by incorporating a digital analytical module of deep learning. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2025. N3. 101-107 (In Russian). DOI: 10.31857/S0235711925030136.

9. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., et. al. Management of the technical condition of agricultural machinery using digital technologies. *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2024. N5. 51-56 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262724050102.

10. Zhizdyuk A.A., Builov V.N., Chumakova S.V., et. al. Application of digital twins of technological farm machines during their operation and maintenance. *Agricultural Engineering*. 2025. Vol. 27. N1. 20-25 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25.

11. Golubev I.G., Bykov V.V., Golubev M.I., et. al. Promising areas of digitalization in the technical maintenance and repair of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2023. Vol. 61. N4(153). 18-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-4-18-25.

12. Tsench Yu.S., Mironov D.A., Pyzhov V.V. Digitalization and automation of restorative processes in agricultural engineering in Russia. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N1. 110-116 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-1-110-116.

Заявленный вклад соавторов

Катаев Ю.В. – научное руководство, подготовка материалов и методов;

Тишанинов И.А. – анализ результатов подготовленных материалов;

Градов Е.А. – получение исходной информации.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kataev Yu.V. – scientific supervision, preparation of materials and methods;

Tishannov I.A. – analysis of the results of the prepared materials;

Gradov E.A. – gathering of the initial data.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 01.05.2026

Статья принята к публикации 28.05.2026

УРОВЕНЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННО-СЕМЕНОВОДЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ



*Иван Александрович Старостин, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: starwan@yandex.ru;
Светлана Александровна Давыдова, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Александр Вадимович Ещин, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник*

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России FGUN-2025-0002.

Авторы выражают благодарность члену Президиума РАН, академику РАН А.Ю. Измайлову, академику-секретарю Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академику РАН Я.П. Лобачевскому и руководителю секции механизации, электрификации и автоматизации Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академику РАН А.С. Дорохову за всестороннее содействие в проведении данного исследования. Отдельная благодарность выражается руководителям и специалистам селекционно-семеноводческих организаций, принявшим участие в анкетировании.

Реферат. В настоящее время в Российской Федерации сохраняется высокий уровень импортозависимости от поставок семенного материала по ряду стратегически важных сельскохозяйственных культур. В сложившейся ситуации актуальной задачей является оценка текущего уровня обеспечения селекционно-семеноводческих организаций техникой. (Цель исследования) Определить уровень обеспеченности селекционно-семеноводческих организаций, осуществляющих деятельность в области селекции и семеноводства зерновых, масличных и овощных культур, специализированными машинами и оборудованием и возрастного состава имеющегося парка данной техники путем проведения онлайн-опроса. (Материалы и методы) Провели опрос методом сплошного онлайн анкетирования респондентов из селекционно-семеноводческих организаций по вопросу обеспечения селекционной техникой. (Результаты и обсуждение) Определили, что уровень обеспеченности селекционными машинами в прошедших опрос организациях составляет в среднем 24,2 процента. Отметили наибольший уровень обеспеченности по машинам для очистки и сортировки семян и селекционным зерновым сеялкам. Востребованы, но отсутствуют в организациях машины для уборки, очистки и сортировки лука, маточных корнеплодов и маточников капусты. Установили, что наиболее востребованными являются машины для послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых и масличных культур – 31,0 процент от общей потребности, а наименее востребованной – группа машин для селекции картофеля. Машины и оборудование возрастом до 10 лет преобладают среди картофеле- и высадкопосадочных машин, картофелеуборочных машин, машин для уборки зерновых и зернобобовых культур с формированием снопов, машин для дражирования семян. (Выводы) Полученные результаты указывают на дефицитность парка селекционной техники и высокую долю в нем физически изношенной и морально устаревшей возрастной техники.

Ключевые слова: техническое обеспечение, селекционно-семеноводческие организации, уровень обеспеченности селекционными машинами, парк селекционных машин.

Для цитирования: Старостин И.А., Давыдова С.А., Ещин А.В. Уровень технического обеспечения селекционно-семеноводческих организаций // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 14-21. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-14-21. EDN: BWJGGS.

THE LEVEL OF TECHNICAL SUPPORT FOR SEED BREEDING ORGANIZATIONS

*Ivan A. Starostin, Ph.D. (Eng.), leading researcher;
Svetlana A. Davydova, Ph.D. (Eng.), leading researcher;
Aleksandr V. Eshchin, Ph.D. (Eng.), leading researcher*

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation*

The research was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FGUN-2025-0002.

The authors express their gratitude to A.Yu. Izmailov, member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences; Ya.P. Lobachevsky, Academician-Secretary of the Agricultural Sciences Division of the Russian Academy of Sciences; and A.S. Dorokhov, Head of the Mechanization, Electrification, and Automation Section of the Agricultural Sciences Division of the Russian Academy of Sciences, for their comprehensive assistance in conducting this study. Special thanks are also extended to the heads and specialists of the breeding and seed organizations who participated in the survey.

Abstract. *Currently, the Russian Federation maintains a high level of import dependence on seed supplies for a number of strategically important crops. In this situation, an urgent task is to assess the current level of provision of breeding and seed organizations with equipment. (Research purpose) The research purpose is determining the level of provision of breeding and seed organizations operating in the field of selection and seed production of grain, oilseed and vegetable crops, specialized machines and equipment and the age composition of the existing fleet of this equipment by conducting an online survey. (Materials and methods) We conducted a survey using a continuous online questionnaire of respondents from breeding and seed organizations on the issue of providing breeding equipment. (Results and discussion) It was determined that the level of availability of breeding machines in the surveyed organizations is an average of 24.2 percent. We noted the highest level of security for machines for cleaning and sorting seeds and selective grain seeders. Demanded, but absent in organizations machines for cleaning and sorting of onions, uterine root vegetables and cabbage. The most popular are machines for post-harvest processing of grains, legumes and oilseeds - 31.0 percent of the total need, and the least popular - a group of machines for potato breeding. Machines and equipment under the age of 10 years prevail among potato and landing machines, potato harvesters, machines for harvesting grain and legumes with the formation of sheaves, seed draught machines. (Conclusions) The obtained results indicate the scarcity of the breeding equipment park and a high proportion of physically worn-out and morally outdated age equipment in it.*

Keywords: *technical support, seed breeding organizations, the level of availability of breeding machines, the park of breeding machines.*

For citation: *Starostin I.A., Davydova S.A., Eshchin A.V. The level for technical support for seed breeding organizations. Machinery Technical Service. 2026. Vol. 64. N3. 14-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-14-21. EDN: BWJGGS.*

В настоящее время в Российской Федерации сохраняется высокий уровень импортозависимости от поставок семенного материала по ряду стратегически важных сельскохозяйственных культур. В 2024 г. уровень самообеспечения семенами основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции, по данным Минсельхоза России, составил в среднем 67,6% при це-

левом показателе Доктрины продовольственной безопасности в 75%. По данным Национального семенного альянса, критически низкие показатели обеспечения отечественными семенами в 2024 г. отмечаются в отношении картофеля – 16%, сахарной свеклы – 18, яровой пшеницы – 41, подсолнечника – 55, кукурузы – 60%. Высокая зависимость от импорта семян сельскохозяйственных культур

в условиях сложной геополитической ситуации ставит под угрозу обеспечение продовольственной безопасности страны. Решение данной проблемы требует активного развития отечественной селекции и семеноводства.

Одним из важнейших факторов интенсификации сельскохозяйственного производства является применение передовых технологий и техники [1].

Низкий уровень технического обеспечения селекционных работ негативно отражается как на эффективности селекционной работы, так и на кадровом обеспечении, поскольку в настоящее время в селекционном процессе сохраняется высокая доля неквалифицированного ручного труда. Вследствие технологического отставания и низкого уровня технического обеспечения селекционные работы в растениеводстве характеризуются низкой производительностью труда, высокой зависимостью результатов от человеческого фактора и высокими потерями ценного генетического материала [2].

В связи с вышеизложенным актуально проведение исследований, нацеленных на выявление текущего уровня технического обеспечения работ по выведению и размножению новых сортов сельскохозяйственных культур в селекционно-семеноводческих организациях методом опроса.

Цель исследования – определить уровень обеспеченности селекционно-семеноводческих организаций, осуществляющих деятельность в области селекции и семеноводства зерновых, масличных и овощных культур, специализированными машинами и оборудованием и возрастного состава имеющегося парка данной техники путем проведения онлайн-опроса.

Материалы и методы. При исследовании проводили опрос представителей селекционно-семеноводческих организаций методом сплошного онлайн-анкетирования с прямым опросом респондентов с реализацией сценариев опроса в зависимости от выби-
раемых ответов.

Объектом исследования выступали селекционно-семеноводческие организации, осуществляющие селекцию зерновых (пшеница, рожь, ячмень, рис, кукуруза и др.), зернобобовых (горох, чечевица и др.), масличных (подсолнечник, рапс, соя и др.) и овощных (лук, морковь, капуста, столовая свекла, картофель) культур. Предметом исследования выступали такие показатели, как наличие работоспособных селекционных машин или оборудования, ед.; потребность в селекционных машинах или оборудовании, ед. (сколько необходимо дополнительно приобрести); средний возраст селекционных машин и оборудования, лет.

Сформированная анкета состояла из вводной, основной и заключительной частей.

Вводная часть включала обращение к респондентам с описанием цели анкетирования и благодарности за оказание содействия.

Во вводной части респондентам предлагалось ответить на три вопроса:

1. «Пожалуйста, укажите название Вашей организации».

В качестве ответа респондентам необходимо было указать название организации в полном или сокращенном виде.

2. «Пожалуйста, укажите Вашу должность».

В качестве ответа респондентам необходимо было указать свою должность в полном или сокращенном виде.

3. «Пожалуйста, укажите наименование групп культур, селекцией которых занимаются в Вашей организации».

В качестве ответа респондентам предлагалось выбрать из пяти вариантов групп культур: зерновые, зернобобовые, масличные, овощные, картофель.

Ответы на данный вопрос (вопрос-фильтр) позволили оптимизировать сценарий опроса, показывая респондентам в дальнейшем только вопросы по группам машин и оборудования, которые могут применяться в селекционном процессе отмеченных групп культур.

Основная часть анкеты включала вопросы, касающиеся только селекционных машин и оборудования и задаваемые отдельно к каждой группе машин:

1. «Пожалуйста, укажите какое количество работоспособных машин (указывается наименование группы машин) имеется в вашей организации (ед.)?»

В качестве ответа респондентам необходимо было указать целое число имеющихся работоспособных машин.

2. «Пожалуйста, укажите какое количество машин (указывается наименование группы машин) необходимо дополнительно приобрести вашей организации для выполнения работ в оптимальные сроки (ед.)?»

В качестве ответа респондентам необходимо было указать целое число машин, которое необходимо дополнительно приобрести.

3. «Пожалуйста, укажите средний возраст работоспособных машин (указывается наименование группы машин) в вашей организации?»

В качестве ответа респондентам предлагалось выбрать из четырех вариантов: до 10 лет, 10-20 лет, 20-30 лет, более 30 лет.

К вопросу предоставлялось пояснение: «Средний возраст техники определяется как отношение сум-

мы возрастов машин данного типа к количеству машин данного типа».

В указанных вопросах основной части также был реализован сценарий ответов. В случае, если ответ на первый вопрос был равен нулю, т. е. работоспособных машин данной группы в организации нет, то на данной странице автоматически исключался вопрос 3, связанный с возрастным составом имеющихся машин.

По результатам анализа отраженных в литературных источниках технологий ведения селекционных работ и селекционной техники был сформирован перечень групп селекционных машин:

- машины для разметки селекционных делянок;
- селекционные машины для протравливания семян [3];
- селекционные машины для дражирования или инкрустирования семян [4];
- селекционные зерновые сеялки [5];
- селекционные сеялки точного высева [6];
- селекционные овощные сеялки [3];
- высадкопосадочные машины [4];
- рассадопосадочные машины [3];
- картофелепосадочные машины [7];
- машины для обработки межделяночных дорожек;
- машины для обработки междурядий пропашных культур в селекционных делянках [7];
- машины для уборки зерновых и зернобобовых культур с формированием снопов [8];
- селекционные зерноуборочные комбайны [4];
- селекционные машины для стационарного обмола;
- селекционные машины для очистки и сортировки семян [9];
- селекционные машины для сушки семян;
- селекционные машины для уборки маточных корнеплодов [4];
- селекционные машины для очистки и сортировки маточных корнеплодов [4];
- селекционные машины для уборки лука;
- селекционные машины для очистки, сортировки и отминки лука;
- селекционные картофелеуборочные машины [10];
- машины для очистки и сортировки семенного картофеля [11];
- машины для уборки маточников капусты.

Заключительная часть включала в себя две формы.

В первой форме выражалась благодарность респондентам и предлагалось оценить качество составления анкеты по пятибалльной шкале.

Во второй форме респондентам предоставлялась

возможность оставить обратную связь, дать свои замечания, предложения или указать наименование востребованных селекционных машин, не отраженных в анкете.

Сформированный опросник был перенесен в форму анкеты на сервисе «Яндекс Формы». Сформированная анкета включала 25 стр., одна из которых была посвящена вводной части, 23 – непосредственно вопросам по селекционным машинам: отдельная страница для каждой рассматриваемой группы машин, одна – заключительной части.

С целью определения адресов рассылки анкеты был сформирован список организаций, осуществляющих на территории Российской Федерации селекционную деятельность в отношении зерновых, зернобобовых, крупяных, масличных и овощных культур. Список формировался на основе анализа базы Государственного реестра сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию, из которого были отсортированы организации, зарегистрировавшие селекционные достижения по рассматриваемым культурам, и сформирован перечень контактов.

Информационное письмо о проведении опроса, содержащее ссылку на сформированную анкету, было направлено на адреса электронной почты 152 организаций в соответствии с полученным списком адресов рассылки.

В качестве показателя оценки состоятельности опроса определялся коэффициент отклика (*Response Rate*), который позволяет определить, насколько успешно проведен опрос [12].

Коэффициент отклика рассчитывался по формуле:

$$RR = n_{оме} / n_{запр} \cdot 100,$$

где RR – коэффициент отклика, %; $n_{оме}$ – количество полученных от организаций полных ответов, шт.; $n_{запр}$ – количество организаций, в которые направлен запрос, шт.

Результаты исследований показывали, что при проведении онлайн-опросов с небольшой выборкой (менее 500 респондентов) достоверные данные возможно получить при коэффициенте отклика в 20–25% [13].

По полученным от селекционно-семеноводческих организаций данным определялся уровень технического обеспечения машинами каждой группы, который рассчитывался по формуле:

$$Y_{от} = n_n / (n_n + n_n) \cdot 100,$$

где $Y_{от}$ – уровень технического обеспечения машина-

ми данной группы, %; n_H – количество машин данной группы, имеющихся в селекционно-семеноводческих организациях, шт.; n_D – количество машин данной группы, которое требуется дополнительно приобрести для пополнения парка селекционно-семеноводческих организаций с целью обеспечения возможности выполнения технологических операций в оптимальные сроки, шт.

При обработке результатов использовался графический метод предоставления данных, методы ранжирования

Результаты и обсуждение. По результатам сплошного онлайн-анкетирования получены ответы респондентов из 35 организаций. Расчетный коэффициент отклика составил 23,0%, что позволяет говорить об успешном проведении опроса.

В качестве лиц, проходивших онлайн-анкетирование от организации, заявлялись преимущественно директора, заместители директора, агрономы, инженеры, руководители отделов и лабораторий. Принявшие участие в онлайн опросе организации осуществляют селекционную деятельность преимущественно зерновых, зернобобовых и масличных культур (рис.).

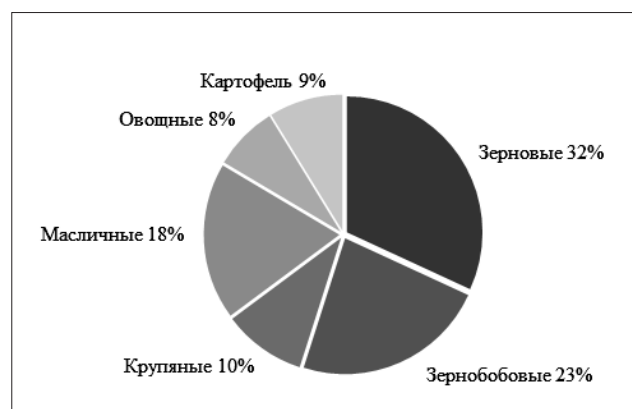


Рис. Распределение организаций по культурам, в отношении которых ведется селекционная деятельность

Fig. Distribution of organizations by the crops they cultivate

Данные по уровню обеспеченности и дополнительной потребности в селекционных машинах ранжированы по возрастанию уровня обеспеченности и для наглядности представлены в виде таблицы 1.

Приведенные данные показывают, что по результатам опроса в прошедших анкетирование организациях имеется 530 ед. различных селекционных машин, а дополнительная потребность в них достигает 933 ед. Техническое обеспечение машинами в среднем составляет 24,2%. Наибольший уровень обеспеченности достигается по машинам для очистки и сортировки семян и селекционным зерновым сеялкам, но и для них этот показатель составляет чуть более 50%.

Таблица 1
Уровень обеспеченности, наличие и дополнительная потребность в селекционных машинах
Availability and additional demand for breeding machines

Наименование машины	Уровень обеспеченности, %	Наличие, ед.	Дополнительная потребность, ед.
Машины для уборки лука	0,0	0	18
Машины для очистки, сортировки и отминки лука	0,0	0	17
Машины для уборки маточных корнеплодов	0,0	0	14
Машины для очистки и сортировки маточных корнеплодов	0,0	0	14
Машины для уборки маточников капусты	0,0	0	10
Рассадопосадочные машины	13,0	3	20
Машины для уборки зерновых и зернобобовых культур с формированием снопов	16,7	8	40
Высадкопосадочные машины	17,9	5	23
Машины для дражирования семян	18,2	4	18
Селекционные овощные сеялки	18,5	5	22
Машины для очистки и сортировки картофеля	20,0	2	8
Машины для разметки селекционных делянок	20,9	18	68
Селекционные сеялки точного высева	22,0	13	46
Машины для протравливания семян	22,2	20	70
Машины для обработки междурядий пропашных культур	30,0	18	42
Машины для обработки межделяночных дорожек	32,4	35	73
Селекционные картофелеуборочные машины	38,5	5	8
Машины для стационарного обмолота	41,6	82	115
Селекционные зерноуборочные комбайны	43,9	50	64
Картофелепосадочные машины	46,7	7	8
Машины для сушки семян	47,0	70	79
Селекционные зерновые сеялки	53,4	70	61
Машины для очистки и сортировки семян	54,8	115	95
Среднее значение	24,2	-	-
Итого	-	530	933

Востребованы, но отсутствуют в организациях машины для уборки, очистки и сортировки лука, маточных корнеплодов и маточников капусты. Наиболее востребованной является группа машин для послеуборочной обработки зерновых, зернобобовых и масличных культур (машины для стационарного обмолота, очистки, сортировки и сушки семян – суммарно 289 ед. или 31,0% от общей потребности), а наименее востребованной – группа машин для селекции картофеля (машины для посадки, уборки и послеуборочной обработки семенного картофеля).

Данные по возрастному составу селекционных машин ранжированы по возрастанию доли машин возрастом до 10 лет и представлены в *таблице 2*.

Таблица 2		Table 2		
Распределение доли селекционной техники по возрастному составу, %				
Share of breeding machines by age composition, %				
Наименование машин и оборудования	До 10 лет	10-20 лет	20-30 лет	Более 30 лет
Селекционные овощные сеялки	0	67	33	0
Рассадопосадочные машины	0	50	50	0
Машины для обработки междурядий пропашных культур	9	46	45	0
Машины для очистки и сортировки семян	14	39	22	25
Машины для сушки семян	14	29	14	43
Машины для стационарного обмолота	15	35	23	27
Машины для разметки селекционных делянок	18	0	27	55
Селекционные зерноуборочные комбайны	27	23	12	38
Селекционные зерновые сеялки	30	18	15	37
Машины для обработки междельных дорожек	32	32	23	13
Машины для протравливания семян	37	44	13	6
Селекционные сеялки точного высева	37	37	13	13
Машины для дражирования семян	50	50	0	0
Высадкопосадочные машины	50	25	25	0
Машины для уборки зерновых и зернобобовых культур с формированием снопов	50	25	0	25
Селекционные картофелеуборочные машины	50	25	0	25
Картофелепосадочные машины	80	0	0	20
Среднее значение	34	32	19	19

В парке селекционной техники, имеющейся в участвовавших в опросе организаций, машины и оборудованием возрастом до 10 лет преобладают среди картофелепосадочных и высадкопосадочных машин, картофелеуборочных машин, машин для уборки зерновых и зернобобовых культур с формированием снопов, машин для дражирования семян; возрастом 10-20 и 20-30 лет – среди селекционных овощных сеялок, машин для дражирования и протравливания семян, машин для обработки междурядий пропашных культур; возрастом более 30 лет – среди машин для разметки селекционных делянок, машин для сушки семян, селекционных зерноуборочных комбайнов и селекционных зерновых сеялок. В парке селекционной техники, имеющейся в участвовавших в опросе организаций, доля машин возрастом до 10 лет в среднем составляет 30%, 10-20 лет – 32, 20-30 лет – 19, более 30 лет – 19%.

Средняя оценка респондентами качества составления анкеты составила 4,2 балла из пяти возможных. Селекционерами при прохождении анкетирования в дополнение к предложенному перечню заявлено о потребности в следующих машинах: счетчик семян или счетно-фасовочная машина, кассетная сеялка для раздельного высева потомства растений, культиваторы-пропольщики с активными рабочими органами, опрыскиватели, селекционный комбайн для уборки кукурузы с весами и определителем влажности, выделители семян томата, огурца, тыквенных культур, современные колосковые и сноповые молотилки [14].

Кроме того, в комментариях к анкете многие представители организаций заявили о необходимости обновления всего машинно-тракторного парка, складского, сортировального и сушильного оборудования, для чего предлагается реализовать программу по предоставлению государственным учреждениям селекционной техники за счет средств федерального бюджета, поскольку окупаемость такой техники зачастую превышает 30 лет.

Выводы. Полученные в результате проведенных исследований данные показывают, что парк селекционных машин характеризуется дефицитом и высокой долей физически изношенной и морально устаревшей возрастной техники, что может негативно влиять на производительность труда, сроки и качество выполнения селекционных работ и в целом на эффективность деятельности селекционно-семеноводческих организаций.

Для повышения конкурентоспособности отечественных семян и обеспечения ими российских сельскохозяйственных товаропроизводителей необходимо принять комплекс оперативных мер, направленных

ных на обновление материально-технической базы селекционных учреждений, внедрение инновационных селекционных технологий, государственное стимулирование сельскохозяйственных товаропроизводителей на приобретение семян отечественной селекции. Применение инновационных технологий в селекции и семеноводстве требует разработки новых машин, отвечающих современным требованиям.

Для решения проблем технико-технологического обеспечения селекционной деятельности необходимо объединить имеющийся потенциал ведущих отечественных машиностроительных предприятий и научно-исследовательских институтов для проведения совместных работ в направлении создания передовых отечественных селекционных машин и оборудования. Это должно обеспечить российских селекционеров современной техникой, интенсифицировать селекционный процесс, повысить уровень компетенций ученых и сельхозмашиностроителей, а также обеспечить повышение уровня конкурентоспособности отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Все эти мероприятия требуют проработки и серьезной финансовой поддержки со стороны государства.

Библиографический список

1. Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Опыт технико-технологического обеспечения сельского хозяйства Южного Урала: от машинно-тракторных станций к научно-производственным мощностям // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N3(152). С. 105-115. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-3-105-115.
2. Ещин А.В., Дегтярева Е.Д., Старостин И.А. и др. Анализ состояния и перспективы развития технического обеспечения сельскохозяйственного производства в России // *АПК: экономика, управление*. 2024. N8. С. 97-106. DOI: 10.33305/248-97.
3. Янченко А.В., Меньших А.М., Голубович В.С. и др. Разработки ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО по механизации семеноводства овощных культур // *Известия ФНЦО*. 2025. N2. С. 131-138. DOI: 10.18619/2658-4832-2025-2-131-138.
4. Кухарев О.Н., Семов И.Н., Старостин И.А. К вопросу технико-технологического обеспечения селекции и семеноводства сахарной свеклы // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N4-2(56). С. 25-30. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-25-30.
5. Текушев А.Х., Чаплыгин М.Е., Чулков А.С. и др. Автоматизированные технические средства в посевной технике для селекции и семеноводства сельхозкультур // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N3(48). С. 49-55. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-3-49-55.
6. Давыдова С.А., Чаплыгин М.Е. Техническая оснащенность селекции и семеноводстве кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 66-74. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74>.
7. Алексеев К.И., Мельников А.Б., Новоселов Э.А. и др. Современное состояние технико-технологического обеспечения селекции и семеноводства овощных культур и картофеля // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2024. N7(113). С. 43-55. DOI: 10.33938/247-43.
8. Чаплыгин М.Е., Годжаев З.А., Уютов С.Ю. Обновление параметров и режимов работы электропривода базовых рабочих органов селекционного комбайна // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2024. Т. 17. N1(80). С. 121-124. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_112.
9. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Эволюция зерно-семяочистительной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N1. С. 24-33. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-24-33.
10. Тетерин В.С., Панферов Н.С., Хортов А.В. и др. Эволюция картофелеуборочной техники // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N3. С. 119-126. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-119-126.
11. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Мосяков М.А. и др. Разработка автоматизированных технических средств для закладки на хранение посадочного материала и удаления зараженных растений овощных культур // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2025. N3. С. 88-96. DOI: 10.31857/S2500208225030188.
12. Князева Е.В. Response rate – показатель качества опроса или методическая проблема? Как мы считали достижимость респондентов в комбинированном исследовании // *Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены*. 2021. N4(164). С. 4-22. DOI: 10.14515/monitoring.2021.4.1855.
13. Wu M.J., Zhao K., Fils-Aime F. Response rates of online surveys in published research: a meta-analysis. *Computers in Human Behavior Reports*. 2022. Vol. 7. 100206. DOI 10.1016/j.chbr.2022.100206.
14. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. ВИМ – основатель производства селекционной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2008. N4. С. 9-11. EDN: RBTMKP.

References

1. Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Experience of technical and technological support of agriculture in the Southern Urals: from machine and tractor stations to

scientific and production facilities. *Machinery Technical Service*. 2023. Vol. 61. N3(152). 105-115 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-3-105-115.

2. Eshchin A.V., Degtiareva E.D., Starostin I.A., et. al. Analysis of the state and prospects of development of technical support of agricultural production in Russia. *AIC: Economics, Management*. 2024. N8. C. 97-106 (In Russian). DOI: 10.33305/248-97.

3. Yanchenko A.V., Menshikh A.M., Golubovich V.S., et. al. Developments of VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Vegetable Center” for mechanization of vegetable crops seed production. *News of FSVC*. 2025. N2. 131-138 (In Russian). DOI: 10.18619/2658-4832-2025-2-131-138.

4. Kukharev O.N., Semov I.N., Starostin I.A. To the question of technic-technological support of selection and seeding of sugar beet. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. N4-2(56). 25-30 (In Russian). DOI:10.12737/2073-0462-2020-25-30.

5. Tekushev A.Kh., Chaplygin M.E., Chulkov A.S., et. al. The automated technical means in sowing equipment for breeding and seed production of agricultural crops. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2022. Vol. 69. N3(48). 49-55 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-3-49-55.

6. Davydova S.A., Chaplygin M.E. Technical equipment of corn breeding and seed production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N3 66-74 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74.

7. Alekseev K.I., Melnikov A.B., Novoselov E.A., et. al. The current state of technical and technological support for breeding and seed production of vegetable crops and potatoes. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2024. N7(113). 43-55 (In Russian). DOI: 10.33938/247-43.

8. Chaplygin M.E., Godzhaev Z.A., Uyutov S.Yu. Engineered estimation of the parameters and operating modes of the electric drives of the threshing working bodies of the selection combine harvester. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024. Vol. 17. N1(80). 112-124 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_112-124.

9. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Evolution of grain and seed cleaning equipment in Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N1. 24-33 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-24-33.

10. Teterin V.S., Panferov N.S., Khortov A.V., et. al. Evolution of potato harvesting equipment. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 119-126 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-119-126.

11. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., et. al. Development of automated technical systems for storing planting material and removing infected vegetable crops. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2025. N3. 88-

96 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500208225030188.

12. Knyazeva E.V. Response rate – an indicator of the research quality or a methodological problem? how we estimated the response rate in the mixed survey. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2021. N4. 4-22 (In Russian). DOI: 10.14515/monitoring.2021.4.1855.

13. Wu M.J., Zhao K., Fils-Aime F. Response rates of online surveys in published research: a meta-analysis. *Computers in Human Behavior Reports*. 2022. Vol. 7. 100206. DOI 10.1016/j.chbr.2022.100206.

14. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Kynev N.G. VIM is the founder of the production of breeding equipment in Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2008. N4. 9-11 (In Russian). EDN: RBTMKP.

Заявленный вклад соавторов

Старостин И.А. – научное руководство, подготовка текста;

Давыдова С.А. – подготовка текста, анализ литературных источников;

Ещин А.В. – доработка текста, анализ литературных источников.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Starostin I.A. – scientific guidance, preparation of the manuscript;

Davydova S.A. – preparation of the text, analysis of literary sources;

Eshchin A.V. – revision of the manuscript; analysis of literary sources.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.05.2026

Статья принята к публикации 28.05.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ



*Юрий Владимирович Катаев, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: ykataev@mail.ru;
Василий Федорович Суконкин, инженер;
Раиса Ашотовна Алехина, младший научный сотрудник;
Алексей Сергеевич Свиридов, научный сотрудник*

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

Реферат. Одним из важнейших способов повышения надежности сельскохозяйственной техники в условиях современного сельского хозяйства является применение полимерных материалов в ее узлах и агрегатах. В большом количестве детали из полимерных материалов используются в современных зерноуборочных комбайнах, что обусловлено рядом технологических и экономических преимуществ полимеров перед традиционными металлами. Опоры скольжения служат важным элементом узлов трения в жатке сельскохозяйственной уборочной техники, в связи с чем они подвержены интенсивному изнашиванию абразивными частицами, поэтому детали для узлов трения необходимо изготавливать из долговечных и прочных материалов. (Цель исследования) Разработать эффективные решения для повышения износостойкости и надежности опор скольжения путем выбора подходящего материала, технологии изготовления и дальнейшей модификации выбранного материала. (Материалы и методы) Использовали в качестве материала исследования полиуретан NOACAST 700, абразивную стойкость которого изучали на абразиметре методом Табера. Методика измерения была основана на измерении потери массы образца при механическом воздействии. (Результаты и обсуждение) Обосновали, что технология изготовления влияет на показатели износостойкости; образцы, полученные методом литья под давлением, меньше изнашиваются по сравнению с образцами, изготовленными методом свободного литья (51 против 56 процентов соответственно). Установили, что удельный массовый износ характеризует объем материала, удаляемый при трении на единицу работы. (Выводы) При повторных испытаниях наблюдается схожая динамика увеличения износа для обоих типов образцов, в связи с чем планируется дальнейшая модификация материала наполнителями для улучшения эксплуатационных свойств опор скольжения.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, опора скольжения, полимер, полимерный материал, абразивная стойкость, износ.

Для цитирования: Катаев Ю.В., Суконкин В.Ф., Алехина Р.А., Свиридов А.С. Исследование абразивной стойкости полимерных материалов для опор скольжения сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 22-27. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-22-27. EDN: GWHGZJ.

Scientific article

STUDY OF ABRASIVE RESISTANCE OF POLYMERIC MATERIALS FOR SLIDING BEARINGS OF AGRICULTURAL MACHINERY

*Yuriy V. Kataev, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Vasily F. Sukonkin, engineer;
Raisa A. Alekhina, junior researcher;
Aleksey S. Sviridov, researcher*

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. One of the most important ways to increase the reliability of agricultural machinery in the conditions of modern agriculture is the use of polymeric materials in its units and aggregates. In a large number of parts made of polymeric materials are used in modern harvesters, which is due to a number of technological and economic advantages of polymers over traditional metals. Slip supports are an important element of friction units in the harvester of agricultural harvesting equipment, in connection with which they are subject to intensive wear by abrasive particles, so parts for friction units must be made of durable materials. (Research purpose) The research purpose is developing effective solutions to improve the durability and reliability of the sliding supports by selecting the appropriate material, manufacturing technology and further modification of the selected material. (Materials and methods) Polyurethane NOACAST 700 was used as a research material, the abrasive resistance of which was investigated on an abrasimeter by the Taber method. The measurement method was based on the measurement of the loss of mass of the sample under mechanical action. (Results and discussion) It was substantiated that manufacturing technology affects wear resistance, samples obtained by injection molding wear less compared to samples made by free casting (51 vs 56 percent, respectively). It was found that specific mass wear characterizes the volume of material removed during friction per unit of work. (Conclusions) During repeated tests, there is a similar dynamics of increasing wear for both types of samples, in connection with which further modification of the material with fillers is planned to improve the performance properties of the slide supports.

Keywords: agricultural machinery, sliding bearing, polymer, polymer material, abrasion resistance, wear.

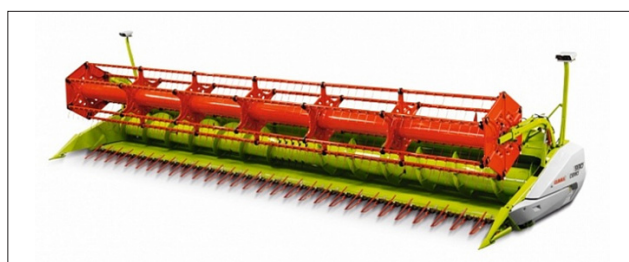
For citation: Kataev Yu.V., Sukonkin V.F., Alekhina R.A., Sviridov A.S. Study of abrasive resistance of polymeric materials for sliding bearings of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N3. 22-27 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-22-27. EDN: GWHGZJ.

Использование полимерных материалов в сельскохозяйственной технике становится все более актуальным в условиях современного сельского хозяйства. Полимеры обладают целым рядом преимуществ: малой массой, коррозионной стойкостью и возможностью формования деталей сложной геометрии, что делает их перспективными для широкого спектра компонентов машин и оборудования. Эти материалы имеют лучшие показатели при нагрузках, которые выходят за пределы нормальных рабочих условий и могут привести к деформации детали или узла: наличие абразива, влаги, температурных колебаний, значительных динамических и знакопеременных нагрузок [1].

В связи с этим традиционные материалы все чаще стали заменяться более современными полимерными композиционными материалами в высоконагруженных узлах трения сельскохозяйственных машин, работающих в самых разных условиях. Узлы трения в сельскохозяйственных машинах служат важными элементами, которые подвержены значительным нагрузкам в процессе эксплуатации [2].

Одним из примеров внедрения полимерных материалов является их использование в зерноуборочных комбайнах. Жатка комбайна, выполняющая функции скашивания и транспортировки массы, испытывает повышенные нагрузки, особенно на шнек и направляющие пальцев шнека, что требует использования надежных материалов. Направляющие пальцев шнека граблины мотовила – это рабочие узлы трения, обеспечи-

вающие равномерную транспортировку стеблестоя к шнековому механизму, особенно в условиях тяжелого грунта или неоднородного микрорельефа поля. Жатку комбайна и рабочие узлы трения данной сельскохозяйственной техники представили на рисунке 1 [3].



a



b

Рис. 1. Жатка комбайна CLAAS (VARIO 930) (a) и узлы трения в жатке комбайна (направляющие пальцев шнека граблины мотовила) (b)

Fig. 1. CLAAS combine harvester header (VARIO 930) (a) and friction units in the combine harvester header (auger finger guides reel rakes) (b)

Детали сельскохозяйственной техники и оборудования в своей эксплуатации подвержены механическим и динамическим нагрузкам, также на них воз-

мм рт. ст.) с последующим расчетом ключевых показателей износостойкости.

Методика расчета абразивостойкости рассчитывается по следующим формулам.

Потеря массы:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

где Δm – потеря массы, мг; m_1 – начальная масса, мг; m_2 – конечная масса, мг.

Длина пути истирания за один цикл:

$$L_{\text{цикла}} = \pi \cdot D, \quad (2)$$

где D – диаметр следа истирания, м; π – математическая константа = 3,1416.

Общий путь истирания:

$$L_{\text{общий}} = L_{\text{цикла}} \cdot N, \quad (3)$$

где N – количество циклов.

Удельный массовый износ:

$$m_{\text{уд}} = \Delta m / (F \cdot L_{\text{общий}}), \quad (4)$$

где F – нормальная нагрузка, Н; $m_{\text{уд}}$ – удельный массовый износ, мг/(Н·м).

Индекс износостойкости:

$$WI = (\Delta m / N) \cdot 1000, \quad (5)$$

где WI – индекс износостойкости, мг/1000 циклов.

Для достоверности полученных данных по потере массы после испытаний на абразивный износ были рассчитаны случайная погрешность, систематическая погрешность и полная погрешность измерений.

Случайная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{сл}} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta m)^2}, \quad (6)$$

где N – число измерений массы (в данном исследовании их 5).

Систематическая погрешность рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{сист}} = \frac{\alpha \cdot x_{\text{пред}}}{100}, \quad (7)$$

где α – класс точности прибора; $x_{\text{пред}}$ – предел шкалы.

Измерения массы осуществлялись на точных электронных весах с погрешностью не более 0,001 г. Ввиду этого пределом шкалы являлась единица младшего разряда, отображаемая прибором.

Расчет полной погрешности измерений осуществляли по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{сл}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}. \quad (8)$$

Для исследования абразивостойкости были под-

готовлены два образца из полимерного композитного материала. В качестве условий испытаний были выбраны следующие показатели: нагрузка 14,71 Н (1500 г); диаметр пути истирания 0,0765 м; частота вращения 73 мин⁻¹. Выбор значений условий испытаний приближен к эксплуатационным воздействиям на детали.

Воздействие абразивных дисков во время проведения исследований представили на рисунке 3.



Рис. 3. Воздействие абразивных дисков на образец во время проведения исследования

Fig. 3. Impact of abrasive discs on a sample during the study

Результаты и обсуждение. Результаты абразивостойкости исследуемых образцов отображены в таблице 2.

Таблица 2		Table 2		
Результаты испытаний на абразивный износ		Results of abrasive wear tests		
Параметр	Образец 1 Тест 1	Образец 1 Тест 2	Образец 2 Тест 1	Образец 2 Тест 2
Количество циклов, N	23360	23360	24090	24090
Потеря массы Δm , мг	0,3831	0,4379	0,5979	0,6876
Удельный износ $m_{\text{уд}} \times 10^{-6}$, мг/(Н·м)	4,64	5,30	7,02	8,07
Индекс износостойкости WI , мг/1000 циклов	0,0164	0,0187	0,0248	0,0285
Накопленная потеря массы, мг	0,3831	0,8210	0,5979	1,2855

Как видно из таблицы 2, оба образца демонстрируют сходную динамику увеличения износа при повторных испытаниях: образец 1 показал увеличение износа на 14,3%, образец 2 – на 15,0%.

Удельный массовый износ характеризует объем материала, удаляемый при трении на единицу работы. Полученные значения $4,64-8,07 \cdot 10^{-6}$ мг/(Н·м) соответствуют типичным показателям для полимер-

ных материалов средней износостойкости.

По результатам первого теста образец 1 демонстрирует значительно лучшую износостойкость по сравнению с образцом 2. Отношение износостойкости (образец 2 / образец 1) составляет:

- по удельному износу: $7,02 / 4,64 = 1,51$ (разница 51%);
- по индексу износостойкости: $0,0248 / 0,0164 = 1,51$ (разница 51%).

Несмотря на идентичный материал образцов, наблюдается значительная разница в износостойкости. Это может быть связано с:

- различиями в микроструктуре материала;
- особенностями подготовки поверхности образцов;
- локальными неоднородностями материала.

Удельный массовый износ $4,64 \cdot 10^{-6}$ мг/(Н·м) для образца 1 и $7,02 \cdot 10^{-6}$ мг/(Н·м) для образца 2 характеризует объем материала, удаляемый при трении на единицу работы. Более низкие значения указывают на лучшую износостойкость.

Индекс износостойкости 0,0164 мг/1000 циклов для образца 1 и 0,0248 мг/1000 циклов для образца 2 показывает потерю массы на стандартизированном количестве циклов, что удобно для сравнительного анализа.

Результаты повторных испытаний показали изменение параметров между тестами:

образец 1:

- увеличение потери массы: +14,3% ($0,4379/0,3831 = 1,143$);
- увеличение удельного износа: +14,2%;
- увеличение индекса износостойкости: +14,0%;

образец 2:

- увеличение потери массы: +15,0% ($0,6876/0,5979 = 1,150$);
- увеличение удельного износа: +15,0%;
- увеличение индекса износостойкости: +14,9%.

Отношение износостойкости (образец 2 / образец 1) остается практически постоянным:

- тест 1: 1,51;
- тест 2: 1,52.

Анализ долговременного поведения материала показал, что накопленный износ после двух тестов имеет следующий вид:

- образец 1: 0,8210 мг;
- образец 2: 1,2855 мг.

Рассчитанная полная погрешность измерений массы образцов после испытаний для всех типов образцов составила не более 0,0003 мг.

Выводы. Исследование износостойкости деталей сельскохозяйственной техники, работающих в условиях абразивного воздействия образцов из материала NOACAST 700, полученных методом литья под давлением и методом свободного литья в эластичные

формы, показало преимущество первой технологии. У образцов, изготовленных литьем под давлением (образец 1), повысилась износостойкость на 51%: накопленный износ после двух циклов испытаний составил 0,8210 мг, что на 56% меньше по сравнению с образцами, полученными свободным литьем (образец 2). Оба образца продемонстрировали схожее увеличение износа при повторных испытаниях (14-15%), что указывает на систематический характер протекания процесса. Для повышения надежности и стойкости опор скольжения к абразивному износу, изготовленных из двухкомпонентного полиуретана, планируется модификация материала различными типами наполнителей.

Библиографический список

1. Алдошин Н.В., Голубев В.В., Васильев А.С. и др. Перспективы использования пластиковых деталей сельскохозяйственных машин // *АгроЭкоИнженерия*. 2023. N3(116). С. 20-34. DOI: 10.24412/2713-2641-2023-3116-20-33.
2. Аржакова О.В., Аржаков М.С., Бадашнина Э.Р. и др. Полимеры будущего // *Успехи химии*. 2022. Т. 91. N12. С. 5062. DOI: 10.57634/RCR5062.
3. Михальцов Е.М., Чекусов М.С., Кем А.А. и др. О рациональном выборе зерноуборочного комбайна и жатки для уборки зерновых в условиях Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023. N53(6). С. 74-82. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-9.
4. Wang Y., Li D., Nie C., et al. Research progress on the wear resistance of key components in agricultural machinery. *Materials*. 2023. Vol. 16. 7646. DOI: 10.3390/ma16247646.
5. Славкина В.Э., Катаев Ю.В., Свиридов А.С. и др. Полимерный композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей: испытания // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26. N5. С. 22-30. DOI: 10.26897/2687-1149-2024-5-22-30.
6. Гончарова Ю.А., Денисов В.А. Анализ отказов полимерных деталей сельскохозяйственной техники // *Технический сервис машин*. 2021. Т. 59. N3(144). С. 146-154. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-3-146-154.
7. Денисов В.А., Задорожний Р.Н., Романов И.В. и др. Триботехнические свойства материалов для опор скольжения культиваторов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 13-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18.
8. Квас С.А., Золотарев А.С. Определение фрикционных свойств ABS-пластика при контакте с суглинистой почвой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N2. С. 98-102. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-98-102.
9. Wortmann M., Frese N., Brikmann J., et al. Silicone mold

accuracy in polyurethane vacuum casting. *Macromol. Symp.* 2021. Vol. 395. 2000242. DOI: 10.1002/masy.202000242.

10. Mirhosseini M.M., Khordad R. How the reactive additives influence the physico-chemical properties of casting polyurethane elastomers. *Sci. Rep.* 2026. Vol. 16. 2482. DOI: 10.1038/s41598-025-32349-4.

11. Сеничев В.Ю., Погорельцев Э.В., Макарова М.А. и др. Исследование взаимосвязи абразивной износостойкости литевых эластомеров полиуретанового типа с их структурными и физико-механическими особенностями // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра.* 2025. Т. 3. С. 33-50. DOI: 10.7242/658-705X/2025.3.3.

References

1. Aldoshin N.V., Golubev V.V., Vasiliev A.S., et al. Application potential of plastic parts of agricultural machines. *AgroEcoEngineering.* 2023. N3(116). 20-34 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2023-3116-20-33.

2. Arzhakova O.V., Arzhakov M.S., Badamshina E.R., et al. Polymers of the future. *Advances in Chemistry.* 2022. Vol. 91. N12. 5062 (In Russian). DOI: 10.57634/RCR5062.

3. Mikhaltsov E.M., Chekusov M.S., Kem A.A., et al. On the rational choice of a combine harvester and a reaper for grain harvesting in conditions of Siberia. *Siberian herald of Agricultural Science.* 2023. N53(6). 74-82 (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-9.

4. Wang Y., Li D., Nie C., et al. Research progress on the wear resistance of key components in agricultural machinery. *Materials.* 2023. V. 16. 7646. DOI: 10.3390/ma16247646.

5. Slavkina V.E., Kataev Yu.V., Sviridov A.S., et al. Polymer composite for farm sprayer atomizers: test results. *Agricultural Engineering.* 2024. Vol. 26. N5. 22-30 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2024-5-22-30.

6. Goncharova Yu.A., Denisov V.A. Failures of polymer parts of agricultural machinery. *Machinery Technical Service.* 2021. Vol. 59. N3(144). 146-154 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-3-146-154.

7. Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., et al. Tribological properties of materials for cultivator sliding bearings. *Agricultural Machinery and Technologies.* 2022. Vol. 16. N4. 13-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-13-18.

8. Kvas S.A., Zolotarev A.S. Determining friction properties of ABS plastic in contact with loamy soil. *Agricultural Machinery and Technologies.* 2024. Vol. 18. N2. 98-102 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-98-102.

9. Wortmann M., Frese N., Brikmann J., et al. Silicone mold accuracy in polyurethane vacuum casting. *Macromol. Symp.* 2021. Vol. 395. 2000242. DOI: 10.1002/masy.202000242.

10. Mirhosseini M.M., Khordad R. How the reactive additives influence the physico-chemical properties of casting polyurethane elastomers. *Sci. Rep.* 2026. Vol. 16. 2482. DOI: 10.1038/s41598-025-32349-4.

11. Senichev V.Yu., Pogoreltsev E.V., Makarova M.A., et al. Study of the interrelation between abrasive wear resistance of cast polyurethane-type elastomers and their structural and physical-mechanical features. *Bulletin of the Perm Federal Research Center.* 2025. Vol. 3. 33-50. DOI: 10.7242/658-705X/2025.3.3.

Заявленный вклад соавторов

Катаев Ю.В. – научное руководство, формулирование основной концепции исследования;

Суконкин В.Ф. – подготовка материалов и методов;

Алехина Р.А. – написание черновика статьи;

Свиридов А.С. – обработка данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kataev Yu.V. – scientific supervision, formulation of the main research concept;

Sukonkin V.F. – preparation of materials and methods;

Alekhina R.A. – drafting the manuscript;

Sviridov A.S. – data processing.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.05.2026

Статья принята к публикации 01.07.2026

ЦИФРОВОЙ МОНИТОРИНГ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В САДОВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ



*Алексей Игоревич Кутырёв, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: alexeykutyrev@gmail.com;
Игорь Геннадьевич Смирнов, доктор технических наук,
главный научный сотрудник, член-корреспондент РАН;
Дмитрий Олегович Хорт, доктор технических наук,
главный научный сотрудник*

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10071
«Развитие методов дистанционного мониторинга на основе оптической визуализации
биологических объектов в садоводстве», <https://rscf.ru/project/24-76-10071/>*

Реферат. В интенсивном садоводстве традиционные визуальные и трудоемкие методы оценки состояния насаждений и инфраструктуры приводят к высокой погрешности данных, несвоевременному выявлению болезней, опадению завязей и повреждению опорных конструкций, что снижает эффективность производства. (Цель исследования) Разработать комплексный метод цифрового мониторинга биологических объектов (плодов, цветков, завязей) и элементов инфраструктуры (стволов, шпалерной проволоки) в интенсивном садоводстве на основе применения современных архитектур свёрточных нейронных сетей для автоматизации учета, диагностики и прогнозирования состояния насаждений. (Материалы и методы) Отметили, что методологическую основу исследования составили алгоритмы глубокого обучения и компьютерного зрения. Собрали экспериментальные данные в промышленных садах Московской области с использованием RGB-камер различных типов. Применяли архитектуры SSD+VGG-16 и семейство YOLO (v5, v8, v11) для детекции, сегментации и классификации объектов. Использовали трансферное обучение, аугментацию данных и стандартные метрики оценки (Precision, Recall, mAP, FPS). (Результаты и обсуждение) Установили, что модель VGG-16+SSD точно классифицирует здоровые и больные плоды ($AP = 0,926$; $AUC-ROC = 0,911$). YOLOv8x с трансферным обучением позволила получить данные о динамике опадения завязей (метрика $mAP50 = 0,673$, среднее опадение 54,8 процентов). Для оценки интенсивности цветения оптимальна модель сегментации YOLOv8x-seg (метрика $mAP50(Mask) = 0,591$, ошибка подсчета цветков ≤ 9 процентов). Мониторинг стволов и шпалерной проволоки эффективен с помощью модели YOLOv11l (метрика $mAP50(B) = 0,564$; 180,1 миллисекунды на кадр). (Выводы) Предложенный комплекс моделей позволяет автоматизировать учет цветков, завязей, плодов и контроль состояния опорных конструкций, обеспечивая принятие обоснованных решений по прореживанию, защите растений и прогнозированию урожайности, что снижает трудозатраты на 30-40 и повышает точность прогноза до 90-95 процентов.

Ключевые слова: цифровой мониторинг, нейронные сети, компьютерное зрение, распознавание, сегментация, прогнозирование урожайности, трансферное обучение, роботизированная платформа.

Для цитирования: Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Цифровой мониторинг биологических объектов в садоводстве на основе нейронных сетей // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 28-34. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-28-34. EDN: IXBUWJ.

DIGITAL MONITORING OF BIOLOGICAL OBJECTS IN HORTICULTURE BASED ON NEURAL NETWORKS

*Aleksey I. Kuttyrev, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Igor G. Smirnov, Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
corresponding member of the Russian Academy of Sciences;
Dmitriy O. Khort, Dr.Sc.(Eng.), chief researcher*

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation*

*The study was funded by a grant from the Russian Science Foundation No. 24-76-10071
"Development of remote monitoring methods based on optical visualization of biological
objects in horticulture", <https://rscf.ru/project/24-76-10071/>*

Abstract. *In intensive horticulture, traditional visual and time-consuming methods of assessing the state of plantations and infrastructure lead to high data error, untimely detection of diseases, ovary fall and damage to support structures, which reduces production efficiency. (Research purpose) The research purpose is developing a comprehensive method of digital monitoring of biological objects (fruits, flowers, ovaries) and infrastructure elements (stems, tapestry wire) in intensive gardening based on the use of modern architectures of convolutional neural networks for automation of accounting, diagnosis and forecasting of planting status. (Materials and methods) It was noted that the methodological basis of the study was formed by deep learning algorithms and computer vision. We collected experimental data in industrial gardens of the Moscow region using RGB cameras of various types. The SSD+VGG-16 architecture and the YOLO family (v5, v8, v11) were used to detect, segment and classify objects. They used transfer training, data augmentation and standard metrics (Precision, Recall, mAP, FPS). (Results and discussion) The VGG-16+SSD model was found to accurately classify healthy and diseased fetuses ($AP = 0.926$; $AUC-ROC = 0.911$). YOLOv8x with transfer training allowed to obtain data on the dynamics of ovary drop (metric $mAP50 = 0.673$, average drop 54.8 percent). To estimate the intensity of flowering, the YOLOv8x-seg segmentation model is optimal ($mAP50(Mask) = 0.591$, flower count error ≤ 9 percent). Monitoring of trunks and tapestry wire is effective using the YOLOv11 model ($mAP50(B) = 0.564$; 180.1 milliseconds per frame). (Conclusions) The proposed set of models allows you to automate the accounting of flowers, ovaries, fruits and control the condition of support structures, providing informed decisions on thinning, plant protection and yield forecasting, which reduces labor costs by 30-40 and increases the accuracy of the forecast to 90-95 percent.*

Keywords: *digital monitoring, neural networks, computer vision, recognition, segmentation, yield forecasting, transfer learning, robotic platform.*

For citation: *Kuttyrev A.I., Smirnov I.G., Khort D.O. Digital monitoring of biological objects in horticulture based on neural networks. Machinery Technical Service. 2026. Vol. 64. N3. 28-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-28-34. EDN: IXBUWJ.*

В интенсивном садоводстве традиционные методы мониторинга состояния растений и инфраструктуры остаются преимущественно визуальными и трудоемкими, что приводит к высокой погрешности оценок и несвоевременному выявлению негативных явлений [1].

В настоящее время наблюдается устойчивый тренд к внедрению технологий точного земледелия (*precision agriculture*), которые позволяют оптими-

зировать использование ресурсов и повысить эффективность производства [2].

Компьютерное зрение становится основным инструментом для сбора данных о состоянии растений на разных уровнях: от отдельного плода до целого сада [3].

Исследования показывают успешное применение нейросетевых моделей для распознавания плодов, оценки цветения и диагностики болезней на таких культурах, как яблоня [4].

Однако большинство разработок ориентировано на специфические условия и требует адаптации к сортам и климатическим особенностям [5].

В отличие от полевых культур, для которых возможен мониторинг «по площадям», эффективное наблюдение за плодовыми культурами требует оценки на уровне отдельных органов растений – соцветий, плодов, листьев, а также контроля целостности шпалерных конструкций [4].

Несвоевременное выявление деформации стволов или коррозии проволоки может приводить к потерям урожая до 15-20%, а неточный прогноз нагрузки урожаем – к истощению деревьев и периодичности плодоношения [2].

Ключевыми фенофазами, определяющими будущий урожай, являются цветение, завязывание и созревание плодов. Избыточное цветение требует проведения операции прореживания, эффективность которой напрямую зависит от точности оценки его интенсивности [6].

Физиологическое опадение завязей в июне может достигать 50% и более, и без точного количественного учета этой динамики невозможно построение адекватных моделей прогнозирования урожайности [7].

Кроме того, на всех этапах вегетации растения подвержены риску поражения болезнями (парша, мучнистая роса, плодовая гниль), что требует ранней диагностики. Развитие алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения, в частности, свёрточных нейронных сетей (*CNN*), открывает новые возможности для автоматизации этих процессов [8].

Модели семейства *YOLO* (*You Only Look Once*) распознают и классифицируют объекты на изображениях в режиме реального времени с высокой точностью, что позволяет использовать их в составе мобильных роботизированных платформ [9].

Таким образом, разработка и интеграция нейросетевых методов для комплексного мониторинга биологических объектов и инфраструктуры сада является актуальной научно-технической задачей, решение которой обеспечит переход к системам принятия решений на основе точных данных.

Цель исследования – разработка комплексного метода цифрового мониторинга биологических объектов (плодов, цветков, завязей) и элементов инфраструктуры (стволов, шпалерной проволоки) в интенсивном садоводстве на основе применения современных архитектур свёрточных нейронных сетей для автоматизации учета, диагностики и прогнозирования состояния насаждений.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели исследования проводились в несколько этапов, каждый из которых соответствовал опреде-

ленному объекту мониторинга и фенофазе развития яблони. Сбор данных осуществлялся на промышленных плантациях яблоневого сада ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Московская обл.) с использованием различных типов *RGB*-камер: зеркальной камеры *Sony Alpha ILCE-7M3*, экшн-камеры *GoPro HERO 11* и камеры смартфонов. Это позволило сформировать представительные наборы данных (датасеты), отражающие различные условия освещения, ракурсы и расстояния до объекта 4.

Для распознавания и классификации плодов был создан датасет из 12600 изображений (с учетом аугментации), размеченных по шести классам: здоровые плоды (красные, зеленые) и пораженные болезнями (парша, мучнистая роса, гниль, механические повреждения). Использована модель *VGG-16* в сочетании с архитектурой *SSD (Single Shot MultiBox Detector)*, обеспечивающая детекцию за один проход. Для учета опадения завязей использована модель *YOLOv8x-n*. Датасет из 2000 изображений завязей сорта «Марат Бусурин» был размечен классом *ovary*. Применено трансферное обучение на базе предобученных на *COCO* весов [10].

Для оценки интенсивности цветения и последующего прореживания применялись модели *YOLOv8-seg (n, s, m, l, x)*, решающие задачу семантической сегментации. Датасет из 2500 изображений цветков размечен полигонами (класс *apple-flowers*). Аугментация включала геометрические и цветовые искажения, добавление шума и имитацию атмосферных эффектов. Для распознавания цветков и плодов на разных стадиях развития была обучена модель *YOLOv8* на датасете из 6000 изображений с классами *apple*, *rosebud*, *flowering*. Для мониторинга состояния стволов и шпалерной проволоки использована новейшая модель *YOLOv11-seg*. Датасет из 1500 изображений размечен по классам *Trunk* и *Wire*. Применена сложная последовательность этапов аугментации, включающая имитацию тумана и дождя для повышения устойчивости моделей.

Обучение всех моделей проводилось с использованием метода трансферного обучения на базе предварительно обученных весов датасета *COCO*. Это позволило значительно ускорить сходимость и повысить итоговую точность. Основные гиперпараметры обучения варьировались в зависимости от задачи, но включали размер входного изображения (640x640 пикселей), оптимизатор *Adam*, функцию потерь, специфичную для архитектуры *YOLO (Box Loss, Class Loss)*, и стратегию ранней остановки обучения для предотвращения переобучения. Оценка качества моделей проводилась с использованием стандартных

метрик: точность (*Precision*), полнота (*Recall*), *F1*-мера (*F1-score*), средняя точность (*mean Average Precision*, *mAP*) при пороге *Intersection over Union (IoU)* 0,5, а также скорость обработки кадров (*FPS*) [11].

Для задач сегментации дополнительно оценивалась точность масок (*mAP@0.5(Mask)*) [12].

Вычислительный эксперимент выполнялся на GPU NVIDIA GeForce RTX 2080 TI и Tesla T4 с использованием фреймворков TensorFlow, Keras и PyTorch.

Результаты и обсуждение. В ходе исследований был разработан и апробирован комплекс нейросетевых моделей, охватывающий ключевые этапы вегетации яблони (табл.).

Таблица		Table	
Результаты оценки эффективности нейросетевых моделей для задач цифрового мониторинга в садоводстве		Results of evaluating the effectiveness of neural network models for digital monitoring tasks in horticulture	
Задача мониторинга	Объект мониторинга (классы)	Используемая модель/ архитектура	Метрики
Распознавание и классификация плодов	Здоровые плоды (красные, зеленые), плоды с паршой, мучнистой росой, гнилью, поврежденные	VGG-16 + SSD	<i>Precision (Avg)</i> = 0,926; <i>Recall (Avg)</i> = 0,961; <i>F-score</i> = 0,946; <i>AUC-ROC</i> = 0,911
Учет опадения завязей	Завязи плодов (класс ovary)	YOLOv8x	<i>mAP50</i> = 0,673; <i>Precision</i> = 0,778; <i>Recall</i> = 0,596
Оценка интенсивности цветения	Цветки (класс apple-flowers) – сегментация	YOLOv8x-seg	<i>mAP50(Mask)</i> = 0,591; <i>Precision (Mask)</i> = 0,602; <i>Recall (Mask)</i> = 0,575
Распознавание фаз развития	Плоды (класс apple), цветение (класс flowering), розовый бутон (класс rosebud)	YOLOv8	<i>mAP50 (apple)</i> = 0,84; <i>mAP50 (flowering)</i> = 0,691; <i>mAP50 (rosebud)</i> = 0,448
Мониторинг инфраструктуры	Стволы (класс Trunk), шпалерная проволока (класс Wire)	YOLOv11l	<i>mAP50(Box)</i> = 0,564; <i>Precision (Box)</i> = 0,596; Скорость = 180,1 мс/кадр

Разработанная на базе VGG-16 и SSD нейронная сеть показала высокую эффективность при решении задачи мультиклассификации плодов яблони. Анализ метрик на тестовой выборке (600 изображений) показал высокую точность (*Average Precision* = 0,926) и полноту (*Average Recall* = 0,961), что подтверждается значением *F*-меры (*Average F-score* = 0,946). Площадь под ROC-кривой составила 0,911, что свидетельствует о высоком качестве упорядочивания объектов моделью и ее способности отличать здоровые плоды от пораженных болезнями.

Модель способна обрабатывать не менее 200 запросов с высокой достоверностью. Применение трансферного обучения модели YOLOv8x для учета завязей позволило получить метрику *mAP50* = 0,673, что является высоким показателем для объектов малого размера и сложного фона. Полевые исследования с использованием данной модели позволили получить точные количественные данные о динамике опадения завязей у сорта «Марат Бусурин».

Установлено, что основная масса завязей (в среднем 43%) опадает в июне, а еще 14% – в июле и августе. Средний процент опадения за весь период составил 54,8%, при этом вариабельность между деревьями в ряду достигала 53%. Эти данные важны для корректировки моделей прогнозирования урожая и изучения влияния агроприемов.

Для оценки интенсивности цветения, необходимой для планирования прореживания, оптимальной признана модель YOLOv8x-seg, показавшая наилучшую точность сегментации (*mAP50(Mask)* = 0,591). Сравнение методов ограничивающих рамок (*bounding boxes*) и масочной сегментации показало, что рамки захватывают в среднем на 37,2% больше пикселей, чем фактическая площадь цветков, что подтверждает преимущество сегментации для точного подсчета. Средняя абсолютная ошибка подсчета количества цветков на тестовой выборке не превысила 9%. Модели YOLOv8 также успешно справились с распознаванием плодов (*mAP* = 0,84) и цветков на стадии цветения (*mAP* = 0,691). Анализ матриц ошибок показал, что наибольшие сложности возникают при различении плотно расположенных цветков и цветков в стадии бутонизации (*rosebud*), что требует дальнейшего увеличения размеченных данных для этих классов (рис. 1).

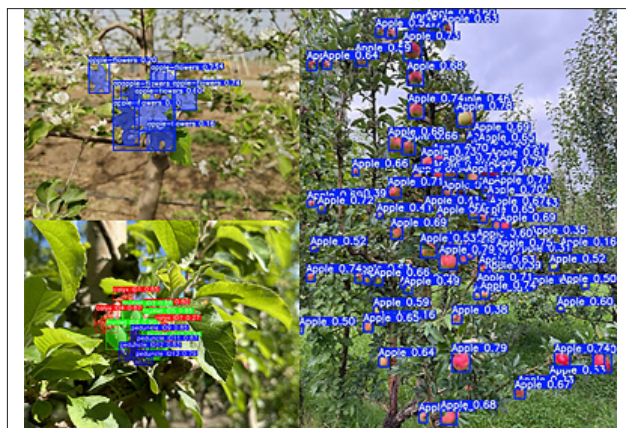


Рис. 1. Пример работы моделей для мониторинга биологических объектов (цветков, завязей, плодов) на основе нейронных сетей

Fig. 1. Example of model operation for monitoring biological

objects (flowers, fruit sets, fruits) based on neural networks

Исследование моделей *YOLOv11* (n, s, m, l, x) для распознавания стволов деревьев и шпалерной проволоки выявило закономерный компромисс между точностью и скоростью. Модель *YOLOv11n* показала максимальную скорость (80,5 мс/кадр, ~12,4 FPS) при точности $mAP50(B) = 0,540$, что делает ее пригодной для работы в реальном времени на борту роботизированной платформы. Для задач офлайн-анализа, где важна максимальная точность, предпочтительна модель *YOLOv11x* ($mAP50(B) = 0,577$). Оптимальным балансом характеристик для большинства практических задач мониторинга была признана модель *YOLOv11l*, обеспечивающая точность $mAP50(B) = 0,564$, $Precision (Box) = 0,596$ и скорость обработки 180,1 мс/кадр, что достаточно для периодического обследования сада (рис. 2).

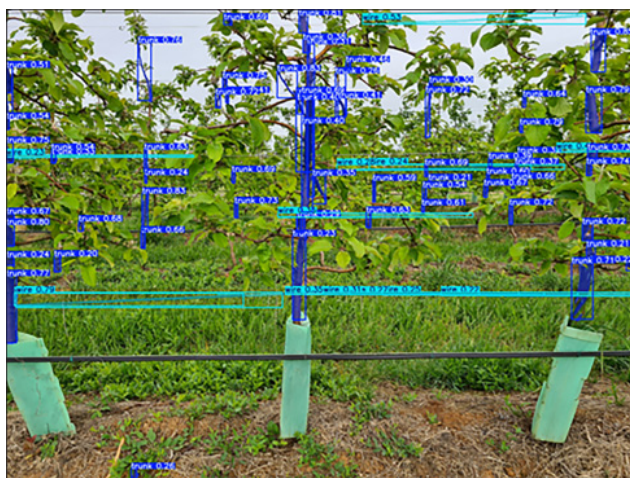


Рис. 2. Пример распознавания, сегментации и классификации стволов деревьев (класс *Trunk*) и шпалерной проволоки (класс *Wire*) с помощью модели *YOLOv11l*

Fig. 2. Example of recognition, segmentation and classification of tree trunks (class *Trunk*) and trellis wire (class *Wire*) using the *YOLOv11l* model

Разработанные модели могут быть интегрированы в систему управления садовыми насаждениями для автоматизации процесса сбора данных [13].

Например, еженедельное сканирование сада с помощью роботизированной платформы, оснащенной RGB-камерами и обученными нейросетями, позволит получать объективную информацию о динамике цветения, завязывания и созревания плодов, а также о состоянии шпалеры. Это даст возможность агроному своевременно корректировать планы по прореживанию, поливу и защите растений [14].

Предварительные расчеты показывают, что автоматизация мониторинга может снизить трудозатраты на 30-40% и повысить точность прогноза урожай-

ности до 90-95%, что в конечном итоге увеличит рентабельность производства за счет сокращения потерь (до 20% урожая) и оптимизации применения удобрений и пестицидов. Кроме того, накопление данных по годам позволит выявлять долгосрочные тенденции и совершенствовать агротехнологические карты [15].

Последовательное применение нейросетевых моделей на различных этапах вегетации дает возможность создать эффективную систему цифрового мониторинга [16].

Данные о количестве цветков служат основой для принятия решения о прореживании. Последующий учет завязей позволяет оценить эффективность этой операции и скорректировать прогноз урожая с учетом естественного опадения. Учет плодов перед уборкой не только дает точную оценку урожайности, но и выявляет очаги распространения болезней. Параллельный мониторинг состояния стволов и шпалеры обеспечивает своевременное выявление и устранение повреждений инфраструктуры, предотвращая потери урожая. Интеграция всех этих модулей в единую программно-аппаратную платформу, установленную на роботизированное шасси, позволит проводить регулярные автоматизированные обследования сада, формируя цифровую историю каждого дерева.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение набора данных за счет включения изображений, полученных в различных погодных условиях (дождь, туман, яркое солнце) и на разных сортах яблони, что повысит универсальность и робастность моделей. Также важным направлением является создание легковесных версий моделей для их работы на встроенных системах с ограниченными вычислительными ресурсами [17, 18].

Выводы. В результате проведенных исследований разработан и апробирован комплекс нейросетевых методов и моделей для цифрового мониторинга биологических объектов и элементов инфраструктуры в интенсивном садоводстве. Полученные количественные и качественные результаты подтверждают эффективность предложенных решений для автоматизации учета, диагностики и прогнозирования состояния насаждений. Основные выводы исследования заключаются в следующем.

Разработан комплексный метод цифрового мониторинга в садоводстве, основанный на применении специализированных архитектур свёрточных нейронных сетей для распознавания, классификации и сегментации биологических объектов (плодов, цветков, завязей) и элементов инфраструктуры на всех ключевых этапах вегетации яблони.

Для идентификации здоровых и пораженных бо-

лезнями плодов эффективно применение архитектуры SSD с моделью VGG-16, обеспечивающей высокое качество мультиклассификации (*Average Precision 0,926, AUC-ROC 0,911*).

Применение трансферного обучения моделей YOLOv8x позволяет вести точный количественный учет завязей плодов с $mAP50 = 0,673$ и впервые получать объективные данные о динамике их опадения в течение вегетационного периода.

Для оценки интенсивности цветения и планирования прореживания наиболее эффективно использование моделей сегментации YOLOv8x-seg ($mAP50(Mask) = 0,591$), которые обеспечивают среднюю абсолютную ошибку подсчета цветков не более 9%, что значительно точнее методов, основанных на ограничивающих рамках.

Для мониторинга состояния опорных конструкций и стволов деревьев оптимальным балансом точности ($mAP50(B) = 0,564$) и производительности (180,1 мс/кадр) обладает модель YOLOv11, позволяющая автоматизировать контроль целостности инфраструктуры сада.

Разработанные нейросетевые решения представляют основу для создания автоматизированных систем поддержки принятия решений в садоводстве, обеспечивая оперативное получение данных для нацеленного проведения агротехнических мероприятий (прореживание, обработка пестицидами), что способствует повышению качества плодов, снижению затрат ресурсов и минимизации потерь урожая.

Библиографический список

1. Zhou X., Sun G., Xu N., et al. A method of modern standardized apple orchard flowering monitoring based on S-YOLO. *Agriculture*. 2023. N13(2). 380. DOI: 10.3390/agriculture13020380.
2. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. и др. Магнитно-импульсивная обработка семян земляники садовой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N5. С. 9-15. DOI: 10.22314/207375992017.5.915.
3. Ценч Ю.С., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Развитие систем управления полетом и средств аэрофотосъемки беспилотных воздушных судов сельскохозяйственного назначения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N2. С. 11-19. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-11-19.
4. Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Применение сверточных нейронных сетей для учета опадения плодов яблони // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. N1(37). 87-102. DOI: 10.5281/zenodo.10926196.
5. Lin Y., Xia Y., Xia P., et al. YOLO11-ARAF: An accurate and lightweight method for apple detection in real-world

complex orchard environments. *Agriculture*. 2025. N15(10). 1104. DOI: 10.3390/agriculture15101104.

6. Yuan W., Hua W., Heinemann P.H., et al. UAV photogrammetry-based apple orchard blossom density estimation and mapping. *Horticulturae*. 2023. N9(2). 266. DOI: 10.3390/horticulturae9020266.

7. Kazandjiev V., Ganeva D., Karenina E., et al. Predicting phenological stages for cherry and apple orchards: a comparative study with meteorological and satellite data. *Agronomy*. 2026. N16(2). 200. DOI: 10.3390/agronomy16020200.

8. Sun L., Hu G., Chen C., et al. Lightweight apple detection in complex orchards using YOLOV5-PRE. *Horticulturae*. 2022. N8(12). 1169. DOI: 10.3390/horticulturae8121169.

9. Pan Y., Chen Y., Tong X., et al. YOLO-CSB: A model for realtime and accurate detection and localization of occluded apples in complex orchard environments. *Agronomy*. 2026. N16(3). 390. DOI: 10.3390/agronomy16030390.

10. Raza H., Abu Bakr M., Khan S.D., et al. Benchmarking YOLO models for crop growth and weed detection in cotton fields. *AgriEngineering*. 2025. N7(11). 375. DOI: 10.3390/agriengineering7110375.

11. Yang L., Zhang T., Zhou S., et al. AAB-YOLO: An improved YOLOv11 network for apple detection in natural environments. *Agriculture*. 2025. N15(8). 836. DOI: 10.3390/agriculture15080836.

12. Lu A., Ma L., Cui H., et al. Instance segmentation of lotus pods and stalks in unstructured planting environment based on improved YOLOv5. *Agriculture*. 2023. N13(8). 1568. DOI: 10.3390/agriculture13081568.

13. Nix S., Sato A., Madokoro H., et al. Detection of apple trees in orchard using monocular camera. *Agriculture*. 2025. N15(5). 564. DOI: 10.3390/agriculture15050564.

14. Wang Y., Tian H., Zhou Y., et al. Orchard-YOLO: A robust deep learning framework for fruit detection complex optical and environmental degradation. *Photonics*. 2026. N13(5). 429. DOI: 10.3390/photonics13050429.

15. Cui W., Lan Y., Li J., et al. Apple yield estimation method based on CBAM-ECA-deeplabv3+ image segmentation and multi-source feature fusion. *Sensors*. 2025. N25(10). 3140. DOI: 10.3390/s25103140.

16. Lv M., Xu Y-X., Miao Y-H., et al. A comprehensive review of deep learning in computer vision for monitoring apple tree growth and fruit production. *Sensors*. 2025. N25(8). 2433. DOI: 10.3390/s25082433.

17. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х. и др. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197. EDN: ZAWQJF.

18. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М. и др. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные ма-*

шины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.

References

1. Zhou X., Sun G., Xu N., et al. A method of modern standardized apple orchard flowering monitoring based on S-YOLO. *Agriculture*. 2023. N13(2). 380. DOI: 10.3390/agriculture13020380.
2. Kutyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A., et al. Magnetic pulse treatment of strawberry seeds. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. Vol. 18. N5. 9-15 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.5.915.
3. Tsench Yu.S., Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Evolution of flight control systems and aerial photography in unmanned agricultural aircraft. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 11-19 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-11-19.
4. Kutyrev A.I., Filippov R.A. Application of convolutional neural networks for fruit drop detection in apple trees. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024. N1-(37). 87-102. (In Russian) DOI: 10.5281/zenodo.10926196.
5. Lin Y., Xia Y., Xia P., et al. YOLO11-ARAF: An accurate and lightweight method for apple detection in real-world complex orchard environments. *Agriculture*. 2025. N15(10). 1104. DOI: 10.3390/agriculture15101104.
6. Yuan W., Hua W., Heinemann P.H., et al. UAV photogrammetry-based apple orchard blossom density estimation and mapping. *Horticulturae*. 2023. N9(2). 266. DOI: 10.3390/horticulturae9020266.
7. Kazandjiev V., Ganeva D., Karenina E., et al. Predicting phenological stages for cherry and apple orchards: a comparative study with meteorological and satellite data. *Agronomy*. 2026. N16(2). 200. DOI: 10.3390/agronomy16020200.
8. Sun L., Hu G., Chen C., et al. Lightweight apple detection in complex orchards using YOLOV5-PRE. *Horticulturae*. 2022. N8(12). 1169. DOI: 10.3390/horticulturae8121169.
9. Pan Y., Chen Y., Tong X., et al. YOLO-CSB: A model for real-time and accurate detection and localization of occluded apples in complex orchard environments. *Agronomy*. 2026. N16(3). 390. DOI: 10.3390/agronomy16030390.
10. Raza H., Abu Bakr M., Khan S.D., et al. Benchmarking YOLO models for crop growth and weed detection in cotton fields. *AgriEngineering*. 2025. N7(11). 375. DOI: 10.3390/agriengineering7110375.
11. Yang L., Zhang T., Zhou S., et al. AAB-YOLO: An improved YOLOv11 network for apple detection in natural environments. *Agriculture*. 2025. N15(8). 836. DOI: 10.3390/agriculture15080836.
12. Lu A., Ma L., Cui H., et al. Instance segmentation of lotus pods and stalks in unstructured planting environment

based on improved YOLOv5. *Agriculture*. 2023. N13(8). 1568. DOI: 10.3390/agriculture13081568.

13. Nix S., Sato A., Madokoro H., et al. Detection of apple trees in orchard using monocular camera. *Agriculture*. 2025. N15(5). 564. DOI: 10.3390/agriculture15050564.

14. Wang Y., Tian H., Zhou Y., et al. Orchard-YOLO: A robust deep learning framework for fruit detection complex optical and environmental degradation. *Photonics*. 2026. N13(5). 429. DOI: 10.3390/photonics13050429.

15. Cui W., Lan Y., Li J., et al. Apple yield estimation method based on CBAM-ECA-deeplabv3+ image segmentation and multi-source feature fusion. *Sensors*. 2025. N25(10). 3140. DOI: 10.3390/s25103140.

16. Lv M., Xu Y.-X., Miao Y.-H., Su W.-H. A Comprehensive Review of Deep Learning in Computer Vision for Monitoring Apple Tree Growth and Fruit Production. *Sensors*. 2025. N25(8). 2433. DOI: 10.3390/s25082433.

17. Lobachevsky Ya.P., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., et al. Digital technologies in tillage. *Innovations in Agriculture*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian). EDN: ZAWQJF.

18. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., et al. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.

Заявленный вклад соавторов

Кутырёв А.И. – подготовка текста, сбор и обработка данных, проведение исследований;
Смирнов И.Г. – формулирование концепции, анализ литературных данных;
Хорт Д.О. – анализ и доработка текста, осуществление критического анализа.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kutyrev A.I. – writing original draft, data collection and processing, conducting research;
Smirnov I.G. – conceptualization, analysis of literary sources;
Khort D.O. – analysis and revision of the text, critical review.
All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 14.05.2026

Статья принята к публикации 01.07.2026

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НАСОСОВ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ НА ОСНОВЕ КВАДРАТИЧНЫХ ДРОССЕЛЬНЫХ ШАЙБ И УРОВНЯ ШУМА



*Николай Алексеевич Петрищев, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Александр Сергеевич Саяпин, младший научный сотрудник;
Михаил Николаевич Костомахин, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Алексей Алексеевич Данков, ведущий специалист,
e-mail: comaconcrsas@mail.ru*

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

Реферат. Техническое состояние насосов коробок передач энергонасыщенных тракторов определяет безотказность функционирования гидросистемы управления фрикционными муфтами и смазки редукторной части. Снижение объемной подачи насоса интенсифицирует каскадное развитие дефектов: буксование фрикционов, образование лаковых отложений, ускоренный износ зубчатых зацеплений и подшипников, что приводит к отказам III группы сложности. (Цель исследования) Проанализировать способы контроля технического состояния насосов коробки передач, разработать предложения по совершенствованию оценки их состояния для современных и более ранних модификаций энергонасыщенных тракторов отечественного производства для повышения контролепригодности и приспособленности к ресурсному диагностированию. (Материалы и методы) Методологическую основу составили: анализ нормативно-технической документации, экспериментальные исследования на стенде КИ-28340 с применением квадратичных дроссельных шайб постоянного сечения и шумометрии. (Результаты и обсуждение) Установили функциональную зависимость подачи насоса от перепада давления, экспериментально подтвердили взаимосвязь между снижением производительности насоса и ростом уровня шума коробки передач. При падении подачи с 48 до 36 литров в минуту (зона Д1, остаточный ресурс 400-1000 моточасов) уровень шума возрастает с 82-85 до 94-97 децибел, взвешенных по частоте А. Обосновали набор типоразмеров дроссельных шайб, покрывающий весь диапазон рабочих режимов насосов НМШ-25 и НМШ-32. Разработали экспериментальные устройства, позволяющие оценивать техническое состояние без демонтажа агрегата. (Выводы) Комбинация статопараметрического и акустического методов обеспечивает переход от жесткого регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, что позволяет своевременно выявлять техническое состояние насоса и предотвращать дорогостоящие отказы ведущего вала и редукторной части коробки передач (III группа сложности).

Ключевые слова: насос коробки передач, ресурсное диагностирование, квадратичный дроссель, виброакустический контроль, энергонасыщенные тракторы, техническое состояние, остаточный ресурс.

Для цитирования: Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Костомахин М.Н., Данков А.А. Диагностирование насосов коробок передач энергонасыщенных тракторов на основе квадратичных дроссельных шайб и уровня шума // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 35-42. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-35-42. EDN: KAHUVA.

DIAGNOSING HIGH-POWER TRACTOR TRANSMISSION PUMPS BASED ON SQUARE THROTTLE ORIFICES AND NOISE LEVEL

*Nikolay A. Petrishchev, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Aleksandr S. Sayapin, junior researcher;
Mikhail N. Kostomakhin, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Aleksy A. Dankov, leading specialist*

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation*

Abstract. *The technical condition of the pumps of transmissions of high-power tractors determines the faultlessness of the functioning of the hydraulic control system of friction clutches and lubrication of the gearbox part. Reducing the volumetric supply of the pump intensifies the cascading development of defects: towing frictions, the formation of lacquer deposits, accelerated wear of geared hooks and bearings, which leads to failures of the III complexity group. (Research purpose) The research purpose is analyzing the ways to monitor the technical condition of gearbox pumps, developing proposals for improving the assessment of their condition for modern and earlier modifications of energy-saturated tractors of domestic production to improve controllability and adaptability to resource diagnostics. (Materials and methods) The methodological basis was: analysis of normative and technical documentation, experimental studies at the KI-28340 stand using quadratic throttle orifice of permanent cross-section and noise measurement. (Results and discussion) We established the functional dependence of the pump supply on the pressure drop, experimentally confirmed the relationship between the decrease in pump performance and the increase in the noise level of the gearbox. When the supply drops from 48 to 36 liters per minute (zone D1, the residual life of 400-1000 hours), the noise level increases from 82-85 to 94-97 decibels weighted by frequency A. We justified a set of sizes of throttle orifices, covering the entire range of operating modes of pumps NMSH-25 and NMSH-32. We have developed experimental devices that allow us to assess the technical condition without dismantling the unit. (Conclusions) The combination of statoparametric and acoustic methods ensures the transition from rigid routine maintenance to maintenance on the actual condition, which allows timely detection of the technical condition of the pump and prevent expensive failures of the drive shaft and gearbox (III group of complexity).*

Keywords: *gearbox pump, resource diagnostics, quadratic throttle, vibroacoustic monitoring, energy-saturated tractors, technical condition, residual resource.*

For citation: *Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Dankov A.A. Diagnosing high-power tractor transmission pumps based on square throttle orifices and noise level. Machinery Technical Service. 2026. 64. N3. 35-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-35-42. EDN: KAHUVA.*

Согласно требованиям нормативно-технической документации (НТД), техническое обслуживание совмещают с ресурсным диагностированием (ТО-3) [1]. Данная процедура позволяет рассчитывать оптимальный остаточный ресурс, определять готовность техники, а также планировать работы по проведению текущего ремонта узлов и агрегатов [2].

К ресурсным относят параметры, номинальные значения которых могут быть восстановлены заменой или ремонтом. Оценка динамики изменения ресурсных параметров до предельных значений позволит корректировать время проведения сервисных ра-

бот исходя из фактического состояния техники [3].

Ранее для определения допускаемого отклонения параметра технического состояния на основании НТД использовались значения Д (Д1 – оптимальный остаточный ресурс $t_{ocm} = 400$ моточасов; Д2 – оптимальный остаточный ресурс $t_{ocm} = 1000$ моточасов; Д3 – оптимальный остаточный ресурс $t_{ocm} = 2000$ моточасов). Соответственно, при проведении ресурсного диагностирования диагност по результатам измеренных значений (Π_i) давал обоснованные рекомендации по дальнейшему использованию техники, что позволяло минимизировать отказы в процессе выполнения агротехнических работ и своевре-

менно производить закупку запасных частей [4].

Подача насоса коробки передач (КП) является одним из ключевых параметров состояния при ресурсном диагностировании. От технического состояния насоса зависит давление в системе управления включением фрикционных муфт передач и гидроаккумулятора, обеспечивающее безразрывность потока мощности, а также смазывание и охлаждение деталей и механизмов [5].

Подачу насоса определяют исходя из баланса расходов жидкости с коэффициентом запаса 1,2, что позволяет компенсировать возрастающие в процессе эксплуатации утечки в гидрораспределителе механизма переключения передач и бустерах фрикционных дисков. Номинальная работа гидравлической системы управления обеспечивает безразрывность потока мощности при переключении передач за счет времени восстановления давления во включаемой передаче на уровне 0,3-0,4 с, что минимизирует ускоренный износ фрикционных дисков из-за буксования и ударных воздействий на зубья шестерен и подшипники.

При снижении коэффициента запаса производительность насоса на малых и средних оборотах не всегда может компенсировать утечки, особенно при одновременном включении механизма отбора мощности. При снижении подачи насоса время восстановления (нарастания) давления в бустерах передач критически увеличивается. Установлено, что предельно допустимое время восстановления давления составляет 0,6 с, особенно на малых частотах вращения коленчатого двигателя [6].

При превышении этого порога наблюдается не только повышенное буксование и разогрев фрикционных дисков, но и существенное увеличение внутренних утечек рабочей жидкости в самих бустерах из-за неполного и запаздывающего смыкания пакетов дисков. Это ведет к резкой интенсификации ударных процессов на кинематически связанных элементах трансмиссии (шестерни, подшипники).

Ударные динамические нагрузки при переключении передач вызывают микровыкрашивание рабочих поверхностей зубьев шестерен и ускоренное усталостное разрушение тел качения и сепараторов подшипников. Возникающие перегрузки передаются на валы, вызывая их микродеформации и нарушение соосности. Формируется порочный круг деградации агрегата: увеличенные радиальные и угловые зазоры требуют еще большего объема масла для компенсации, что при низкой производительности насоса приводит к еще большему падению давления и дальнейшему усугублению ударных воздействий.

Параллельно с этим на разогретых рабочих поверхностях дисков из масла образуются лаковые отложе-

ния, которые препятствуют теплоотводу и дальнейшему перегреву вплоть до изменения геометрической формы (тарельчатость, вплоть до спекания). Лаковые отложения изменяют коэффициент трения, а при их удалении создают дополнительное сопротивление и повышенную нагрузку на фильтр КП, что препятствует эффективной очистке рабочей жидкости.

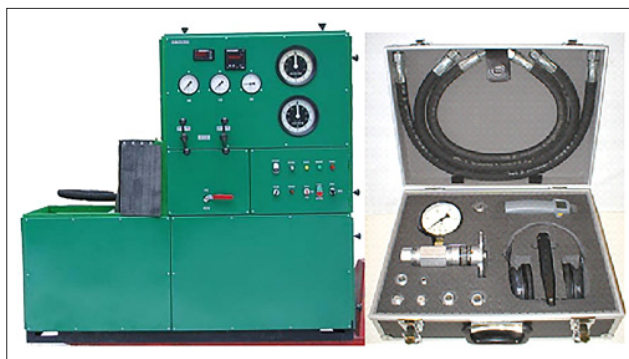
Данные изменения в техническом состоянии КП, согласно классификатору отказов, характеризуются отказом III группы сложности (с оперативными затратами на устранение более 10,0 ч), при этом отказ самого масляного насоса входит во II группу сложности (до 3,0 ч). Снижение объемной подачи шестеренного насоса НМШ сопровождается ростом неравномерности потока рабочей жидкости (пульсаций давления). При увеличении внутренних утечек через торцевые и радиальные зазоры возникает кавитация и гидравлические удары в местах выхода зубьев из зацепления [7].

Эти гидродинамические процессы возбуждают колебания корпуса насоса и картера КП, что регистрируется как рост широкополосного акустического шума (Фоменко В.Д., Ломакин В.О. Исследование возможности определения виброакустических характеристик насоса в модели с сосредоточенными параметрами // Гидравлические и теплотехнические системы и агрегаты: сборник материалов и докладов XXVII Международной научно-технической конференции. Москва: ООО «Издательство «Мир науки». 2023. С. 261-266.).

Считаем, что в настоящее время необходимо совершенствовать способы оценки технического состояния насоса коробки передач (статопараметрическим и акустическим методами контроля), которые позволили бы заблаговременно реагировать на снижение коэффициента запаса подачи насоса КП и минимизировать динамику развития износов составных частей КП.

Цель исследования – проанализировать способы контроля технического состояния насосов КП, разработать предложения по совершенствованию оценки их состояния для современных и более ранних модификаций энергонасыщенных тракторов отечественного производства для повышения контролепригодности и приспособленности к ресурсному диагностированию.

Материалы и методы. Обзор средств контроля показал, что при входном контроле качества ремонта использовались стенды производства опытных заводов ГОСНИТИ: КИ-13647, КИ-5278, КИ-28256.01, а также переносные диагностические устройства и модули: КИ-24038, КИ-13944, КИ-28209 (рис. 1).



a

b

Рис. 1. Средства для оценки технического состояния масляных насосов коробки передач энергонасыщенных тракторов: а – стенд для испытания, обкатки и регулировки масляных насосов, клапанов и фильтров КИ-28256.1; б – переносной модуль диагностирования механических коробок передач с гидравлическим управлением сельскохозяйственных тракторов КИ-28209

Fig. 1. Tools for assessing the technical condition of oil pumps of hydraulically controlled transmissions of high-power tractors: a – a stand for testing, running-in and adjusting oil pumps, valves and filters KI-28256.1; b – portable diagnostic module for mechanical gearboxes with hydraulic control of agricultural tractors KI-28209

Оценка с применением стенда КИ-28256.01 производится за счет определения коэффициента подачи при номинальной скорости вращения вала насоса с помощью электродвигателя, оценивая подачу разогретой рабочей жидкости (до 60 °С) расходомером при давлении 1,6 МПа. При использовании устройства КИ-24038 его подключают к гидроприводу КП, прогревают масло и поворотом рукоятки плавно доводят давление в нагнетательной магистрали до 1,0 МПа, считывая величину подачи по шкале лимба (рис. 2).

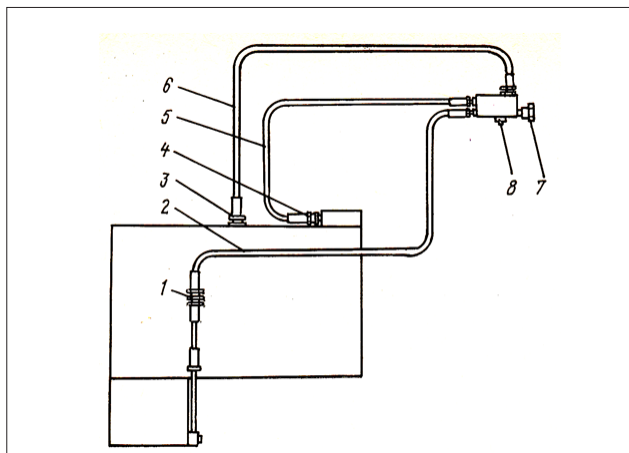


Рис. 2. Схема подключения КИ-24038 к гидроприводам КП трактора К-701 (вид справа): 1 – переходник; 2, 5, 6 – гидролинии; 3, 4 – штуцера; 7 – рукоятка дросселя-расходомера; 8 – вентиль

Fig. 2. Connection diagram of KI-24038 to the hydraulic drives of the K-701 tractor gearbox (right view): 1 – adapter; 2, 5, 6 – hydraulic lines; 3, 4 – fittings; 7 – throttle-flow meter handle; 8 – valve

Основными недостатками переносных средств являются риски человеческого фактора при определении подачи, оплата сторонних специалистов, а также то, что большинство представленных средств снято с производства [8].

Необходимо заметить, использование дросселя-расходомера переменного сечения требует его прецизионной калибровки от угла поворота, что увеличивает стоимость и делает невозможной постоянную установку в гидролинию «насос КП–фильтр КП».

Заслуживает особого внимания конструкция устройства КИ-19499 (Тартуский филиал ЦОКТЬБ ГОСНИТИ, рис. 3).

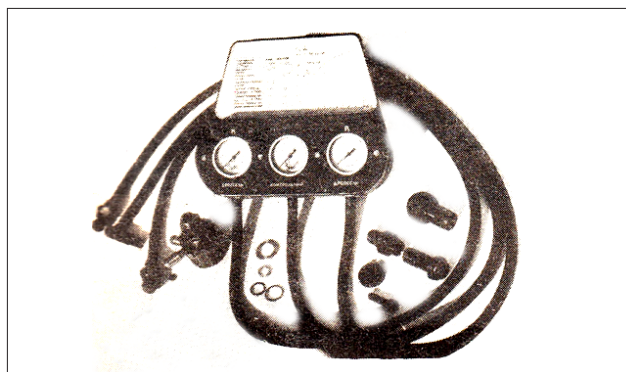


Рис. 3. Устройство КИ-19499 для оценки подачи насоса КП тракторов К-701, Т-150К

Fig. 3. KI-19499 device for evaluating the flow rate of the gearbox pump of K-701 and T-150K tractors

Работа устройства основана на использовании тестовой дроссельной шайбы, подключенной в магистраль. Подача насоса определяется как разница давлений до и после квадратичного дросселя постоянного сечения при заданной частоте двигателя, который осуществляет привод ведущего вала КП. Третий манометр в устройстве используется для контроля и оценки правильности показаний давления в системе управления КП штатного показывающего устройства, расположенного в кабине трактора.

В качестве прототипа для совершенствования оценки технического состояния насосов коробки передач выбрано устройство КИ-19499 для современных и более ранних модификаций энергонасыщенных тракторов отечественного производства ПТЗ, БТЗ (ХТЗ), «Ярославич» и др.

Основными преимуществами данного выбора являются низкая стоимость, отсутствие изменений в конструкции КП, возможность использования манометров или датчиков давления, а также разработка как съемного, так и постоянно установленного вариантов устройства.

Результаты и обсуждение. Из-за низкой покупательской способности сельхозтоваропроизводители не могут осуществить диагностирование на современном, оснащённом турбинными расходомерами жидкости (например компаний *HYDAC*, *Shtauffi* др.), оборудовании для оценки технического состояния гидравлических систем [9].

Использование дроссельных шайб в качестве расходомеров жидкости широко известно и основано на квадратичной зависимости расхода жидкости через отверстие от перепада давления. Объемная подача насоса Q рассчитывается по формуле:

$$Q = k \cdot K_v(T) \cdot \sqrt{P_1 - P_2},$$

где k – калибровочный коэффициент дроссельной шайбы; $K_v(T)$ – температурный поправочный коэффициент; P_1, P_2 – давление до и после дроссельной шайбы, МПа. Для обеспечения точности в полевых условиях вводится коэффициент $K_v(T)$ равный 1 при температуре +65 °С, а при температуре +75 °С – 1,1.

Для оценки подачи разработаны два прототипа устройства, оснащенные манометрами 0-2,5 МПа (кл. точн. 1,5) или датчиками давления (0-3,2 МПа):

- А – упрощенный, комплектуется набором дроссельных шайб шести типоразмеров для оценки насосов НМШ-25 и НМШ-32 на частотах ведущего вала КП 970, 1900 и 2100 об/мин (рис. 4, а);

- В – модернизированный, устанавливается в линию «насос КП–фильтр КП» и оснащается краном для отключения дросселя в штатном режиме и перевода потока через дроссельную шайбу (одного типоразмера) для измерения подачи насоса (рис. 4, б).

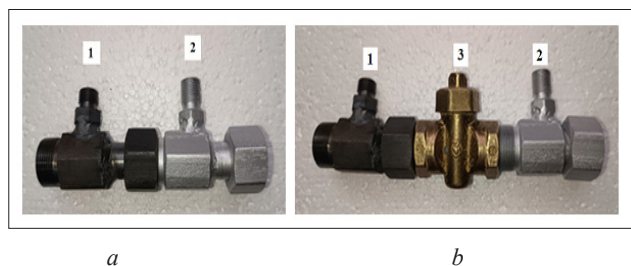


Рис. 4. Общий вид прототипов устройств для оценки подачи насосов КП: а – упрощенный; б – модернизированный; 1 – штуцер для подключения манометра (датчика давления) для определения давления P_1 перед дроссельной шайбой; 2 – штуцер для подключения манометра (датчика давления) для определения давления P_2 за дроссельной шайбой; 3 – кран режимов
Fig. 4. General view of prototype devices for evaluating the flow rate of gearbox pumps: а – simplified; б – modernized; 1 – nipple for connecting a pressure gauge (pressure sensor) to determine the pressure P_1 in front of the throttle orifice; 2 – nipple for connecting a pressure gauge (pressure sensor) to determine the pressure P_2 behind the throttle orifice; 3 – mode valve

Нормативные значения объемной подачи приведены в таблице 1. В качестве пороговых значений Д интерпретировались значения коэффициента подачи насоса (ном. – 0,85; ДЗ – 0,80; Д2 – 0,66; Д1 – 0,54).

Таблица 1
Примеры нормативных значений технического состояния насосов НМШ-25, НМ-32
Examples of standard values for the technical condition of pumps NМSh-25, NМ-32

Марка трактора/тип насоса	Частота, об/мин	Давление поддерживаемое клапаном, МПа	Д1	Д2	ДЗ	Ном.
К-701 / НМШ-25	2100 ± 50	0,90-1,00	33,9	41,5	50,2	53,4
К-701 / НМШ-25	1900 ± 50	0,90-1,00	30,7	37,6	45,6	47,8
К-701 / НМШ-25	970 ± 50	0,90-1,00	15,7	19,1	23,3	24,7
Т-150К / НМШ-25	2100 ± 50	0,95-1,05	25,4	31,0	37,0	40,1
Т-150К / НМШ-25	1900 ± 50	0,95-1,05	22,9	28,1	34,0	36,2
Т-150К / НМШ-25	970 ± 50	0,95-1,05	11,7	14,4	17,7	18,5
К-744Р / НМШ-32	2100 ± 50	1,10-1,20	46,4	56,7	68,8	73,1
К-744Р / НМШ-32	1900 ± 50	1,10-1,20	42,0	51,4	62,3	66,2
К-744Р / НМШ-32	970 ± 50	1,10-1,20	21,5	26,3	31,9	33,9

Диапазон измеряемых подач составляет от 11,7 до 73,1 л/мин. На основе расчета и условия поддержания перепада давления в диапазоне 2,0-9,3 бар (для исключения чрезмерной нагрузки на насос и гарантии $P_1 \leq 2,5$ МПа) обоснован набор из шести типоразмеров (материал: сталь 45 или 12Х18Н10Т, толщина 4 мм, конус входа 75°, табл. 2).

Таблица 2
Обоснование набора дроссельных шайб
Justification for the set of throttle orifices

Диаметр, мм	Коэфф. k	Диапазон подач, л/мин	Макс. ΔР, МПа	Применение
4,3 ± 0,05	8,21	14,2-25,9	0,91	НМШ-25, 970 об/мин
5,0 ± 0,05	11,10	19,2-35,1	0,93	НМШ-32, 970 об/мин
6,0 ± 0,05	15,98	27,7-50,5	0,89	НМШ-25, 1900 об/мин
6,4 ± 0,05	18,18	31,5-57,4	0,87	НМШ-25, 2 100 об/мин
7,5 ± 0,05	24,97	43,0-78,0	0,70	НМШ-32, 1900 об/мин
8,5 ± 0,05	32,06	55,7-101,2	0,52	НМШ-32, 2100 об/мин

Шайба диаметром 6,0 мм включена в набор для обеспечения преемственности с устройством КИ-19499 и проведения сравнительных испытаний (рис. 5).

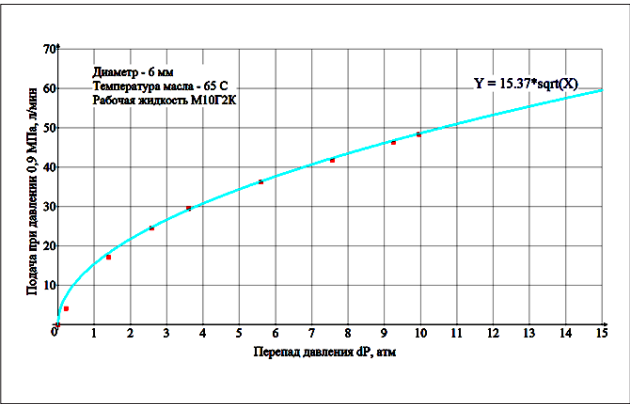


Рис. 5. Взаимосвязь подачи насоса от перепада давления на дросселе диаметром 6 мм для насоса НМШ-25 КП трактора К-701

Fig. 5. Relationship between pump flow and pressure drop at a throttle with a diameter of 6 mm for the NMSH-25 pump of the K-701 tractor

Диаметры 7,5 и 8,5 мм специально подобраны для снижения максимальной нагрузки на насос, гарантируя, что давление в системе не превысит паспортный максимум 2,5 МПа, при условии обеспечения номинального технического состояния линейного фильтра с перепадом давления не более 0,15 МПа (табл. 3).

Таблица 3 Перепады давления на дроссельных шайбах при пороговых значениях подачи (при T = +65 °C) Pressure drops on throttle valves at threshold flow values (at T = +65 °C)					
Диаметр, мм	Насос/Режим	Д1, МПа	Д2, МПа	Д3, МПа	Ном., МПа
4,3	НМШ-25, 970 об/мин	0,36	0,54	0,81	0,91
5,0	НМШ-32, 970 об/мин	0,38	0,56	0,83	0,93
6,0	НМШ-25, 1900 об/мин	0,37	0,55	0,81	0,98
6,4	НМШ-25, 2100 об/мин	0,35	0,52	0,76	0,87
7,5	НМШ-32, 1900 об/мин	0,28	0,42	0,61	0,70
8,5	НМШ-32, 2100 об/мин	0,21	0,31	0,46	0,52

Калибровка расхода жидкости и соответствующего перепада давлений в дроссельных шайбах производится с помощью расходомера стенда КИ-28256. По рекомендациям была проведена оценка уровня шума КП К-701 с применением виброшумомера ШИ-01В на стенде КИ-28340 (табл. 4, рис. 6) [10].

Таблица 4
Пример взаимосвязи технического состояния, прогнозируемого ресурса, производительности насоса НМШ-25, перепада давления и уровня шума
Example of the relationship between the technical condition, predicted resource, performance of the NMSH-25 pump, pressure drop, and noise level

Техническое состояние	Остаточный ресурс	Подача насоса Q, л/мин	ΔP на дросселе, атм	Уровень шума L, дБА	Характеристика
Новый / после ремонта	> 2000 (Д3)	48,0	9,75	80-82	Норма, равномерный шум
Допускаемое (текущее)	1000-2000 (Д2→Д3)	43-45	7,8-8,6	83-87	Стабильная работа, допустимый износ
Предупреждение	400-1000 (Д1)	36,0	5,47	88-90	Рост пульсаций, начало износа подшипников
Критическое	< 400	30,0	3,81	91-93	Выраженные удары, риск отказа
Аварийное	0	< 24,0	< 2,44	> 93	Разрушение деталей, скрежет



Рис. 6. Процесс оценки уровня звука при обкатке КПП К-701 на стенде КИ-28340 с применением виброшумомера ШИ-01В
Fig. 6. The process of assessing the sound level during the running of the K-701 gearbox on the KI-28340 stand using the ShI-01V vibration noise meter

Стоимость комплекта из прецизионных дроссельных шайб, крепежа и двух манометров 0-2,5 МПа дешевле в 5-20 раз серийных расходомеров. Предотвращение всего одного отказа КП III группы сложности экономит предприятию 150 000-300 000 руб. Срок окупаемости устройства составляет менее одного сезона эксплуатации.

Выводы. Разработаны два прототипа устройств для оценки подачи насосов КП на основе квадратных дроссельных шайб, обеспечивающие точность

измерения $\pm 3,5-4,0\%$. Обосновано использование однотипных манометров с диапазоном 0-2,5 МПа (класс точности 1,5), что обеспечивает достаточную для ресурсного диагностирования точность определения пороговых состояний при минимальной стоимости и высокой унификации. Теоретически и практически обоснован набор из шести типоразмеров дроссельных шайб (4,3; 5,0; 6,0; 6,4; 7,5; 8,5 мм). Шайба диаметром 6,0 мм включена для обеспечения преемственности с устройством КИ-19499 и проведения сравнительных испытаний. Диаметры 7,5 и 8,5 мм специально подобраны для снижения максимальной нагрузки на насос, гарантируя, что давление в системе не превысит паспортный максимум 2,5 МПа, а давление после шайбы останется выше 15 бар, исключая кавитацию.

Установлена достоверная корреляция между предельным временем восстановления давления в бустерах (0,6 с), результатами стендовых испытаний на КИ-28340, уровнем шума КП (83-97 дБА) и техническим состоянием насоса, что позволяет применять акустический метод как оперативный дополнительный критерий первичной диагностики.

Предложенные решения обеспечивают переход от жесткого регламентного обслуживания к обслуживанию фактическому, что значительно снижает издержки владельцев техники и сервисных служб.

Библиографический список

1. Кушнарев Л.И. Проблема повышения надежности машин и оборудования // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. N2. С. 5-9. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-5-9.
2. Катаев Ю.В., Малева Е.Ф. Ресурсосберегающая система технического обслуживания и ремонта машин // *Технический сервис машин*. 2022. Т. 60. N3(148). С. 83-90. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-3-83-90.
3. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В. и др. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // *Техника и оборудование для села*. 2021. N9(291). С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.
4. Кушнарев Л.И. Системные проблемы машиностроения по повышению надежности отечественной техники // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2025. Т. 23. N1. С. 127-137. DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-1-127-137.
5. Максимов А.В., Зиминая Л.А., Березовский А.Б. и др. Моделирование гидравлического привода клапанов ДВС // *Сельский механизатор*. 2021. N7. С. 26-28. EDN: SOADJW.
6. Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Определение остаточного ресурса деталей сельскохозяй-

ственных машин // *Промышленность и сельское хозяйство*. 2022. N7(48). С. 10-16. EDN: VTFMFG.

7. Ломакин В.О., Михеев К.Г., Веселов А.А. и др. Исследование возможности моделирования вибраций корпуса насоса из-за воздействия нестационарных гидродинамических сил // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2022. N12(753). С. 107-115. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-12-107-115.

8. Хольмстрем Э.М., Ломакин В.О. Перспективы и проблемы создания гидравлических испытательных вибростендов // *Гидравлика*. 2024. N24. С. 19-28. EDN: MYMZNQ.

9. Кушнарев Л.И. Состояние и перспективы развития машиностроения // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*. 2020. N4(133). С. 61-80. DOI: 10.18698/0236-3941-2020-4-61-80.

10. Чистоклетов А.А., Пугин К.Г. Использование вибродиагностики для определения технического состояния гидравлического оборудования // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021. N3. С. 54-62. DOI: 10.15593/24111678/2021.03.07.

References

1. Kushnarev L.I. The problem of increasing the reliability of machinery and equipment. *Machinery Technical Service*. 2024. Vol. 62. N2. 5-9 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-5-9.
2. Kataev Yu.V., Malykha E.F. Resource-saving system of maintenance and repair of machines. *Machinery Technical Service*. 2022. Vol. 60. N3(148). 83-90 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-3-83-90.
3. Chernov Ivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., et al. A new strategy for the maintenance and repair of machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N9(291). 33-36 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.
4. Kushnarev L.I. Systemic problems of mechanical engineering to improve the reliability of domestic equipment. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2025. Vol. 23. N1. 127-137 (In Russian). DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-1-127-137.
5. Maksimov A.V., Zimina L.A., Berезovsky A.B., et al. Modeling of the hydraulic drive of internal combustion engine valves. *Rural Machine Operator*. 2021. N7. 26-28 (In Russian). EDN: SOADJW.
6. Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Determination of the residual life of agricultural machinery parts. *Industry and Agriculture*. 2022. N7(48). 10-16 (In Russian). EDN: VTFMFG.
7. Lomakin V.O., Mikheev K. G., Veselov A.A., et al. Investigation of the possibility to simulate oscillations of

the pump housing exposed to effects of the unsteady hydrodynamic forces. Bulletin of higher educational institutions. BMSTU Journal of Mechanical Engineering. 2022. N12(753). 107-115 (In Russian). DOI: 10.18698/0536-1044-2022-12-107-115.

8. Holmstrem E.M., Lomakin V.O. Prospects and problems of creating hydraulic test vibration stands. *Hydraulics. 2024. N24. 19-28 (In Russian). EDN: MYMZNQ.*

9. Kushnarev L.I. Development of mechanical engineering: state and prospects. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering. 2020. N4(133). 61-80 (In Russian). DOI: 10.18698/0236-3941-2020-4-61-80.*

10. Chistokletov A.A., Pugin K.G. Using vibration diagnostics to determine the technical condition of hydraulic equipment. *Transport. Transport Structures. Ecology. 2021. N3. 54-62 (In Russian). DOI: 10.15593/24111678/2021.03.07.*

Заявленный вклад соавторов

Петрищев Н.А. – подготовка текста, сбор материалов, анализ литературных данных;

Саяпин А.С. – доработка текста, редактирование текста;

Костомахин М.Н. – редактирование текста, анализ литературных данных;

Данков А.А. – подготовка опытных образцов, доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Petrishchev N.A. – preparation of the text, collection of materials, analysis of literary data;

Sayapin A.S. – finalizing the text, text editing;

Kostomakhin M.N. – text editing, literature review;

Dankov A.A. – preparation of prototypes, revision of the text.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 14.05.2026

Статья принята к публикации 01.07.2026

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ, ДИФФУЗИЯ И УПРОЧНЕНИЕ НАПЛАВКИ Fe-Cr-C-NbC НА СТАЛИ 65Г ПРИ ВАКУУМНОМ ОТЖИГЕ



¹Наталья Николаевна Ивахненко, кандидат физико-математических наук,
доцент, e-mail: ivakhnenko_nn@rgau-msha.ru;

¹Максим Юрьевич Бадекин, кандидат технических наук,
старший преподаватель;

¹Вячеслав Григорьевич Борулько, доктор технических наук, профессор;

¹Виктор Иванович Балабанов, доктор технических наук;

²Дмитрий Витальевич Поручиков, научный сотрудник

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА
им. К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Перспективным направлением повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающей техники считается применение газотермических покрытий системы Fe-Cr-C, легированных дисперсными карбидами, однако исходное состояние границы «покрытие–подложка» характеризуется недостаточной адгезией. (Цель исследования) Установить закономерности эволюции микроструктуры, фазового состава, элементного распределения и микротвердости наплавочного покрытия системы Fe-Cr-C-NbC-TiC-W-Mo на стали 65Г в процессе вакуумного отжига при 1000 градусах по Цельсию в интервале выдержек 60-300 минут для обоснования технологических режимов упрочнения. (Материалы и методы) Образцы размером 20×20 миллиметров из стали 65Г подвергали газотермическому напылению композиционного порошка на железной основе. Проводили вакуумный отжиг в печи СШВЭ-1,2,5. Комплексная характеристика включала сканирующую электронную микроскопию с ЭДС-анализом, металлографию и измерение микротвердости по Виккерсу. (Результаты и обсуждение) Установили, что с увеличением времени выдержки резкая гетерофазная граница трансформируется в градиентную диффузионную зону толщиной до 40-50 микрометров. Исходная дендритная структура наплавки замещается равноосной полигонизированной структурой. Карбиды NbC, TiC, W, Mo претерпевают диффузионно-управляемую коалесценцию, достигая размера 8-12 микрометров. Микротвердость подложки монотонно снижается с 290 до 198 по шкале Виккерса вследствие отпуска и декарбонизации, тогда как твердость наплавки после стабилизации при выдержке 300 минут возрастает до 752 по шкале Виккерса за счет совокупного вклада дисперсионного твердения, выделения вторичных карбидов хрома и диффузионного насыщения углеродом. (Выводы) Режим вакуумного отжига при 1000 градусов по Цельсию в течение 300 минут является технологически обоснованным для формирования высокоадгезионного композита «покрытие–подложка». Оптимальное сочетание повышенной твердости наплавки и развитой диффузионной зоны обеспечивает существенное повышение эксплуатационного ресурса деталей почвообрабатывающей техники, функционирующих в условиях интенсивного абразивного износа.

Ключевые слова: вакуумный отжиг, газотермическое напыление, наплавка Fe-Cr-C-NbC, сталь 65Г, диффузия, микроструктура, микротвердость, карбиды ниобия, износостойкость, сельскохозяйственная техника.

Для цитирования: Ивахненко Н.Н., Бадекин М.Ю., Борулько В.Г., Балабанов В.И., Поручиков Д.В. Эволюция структуры, диффузия и упрочнение наплавки Fe-Cr-C-NbC на стали 65Г при вакуумном отжиге // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 43-52. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-43-52. EDN: KFDZWI.

STRUCTURAL EVOLUTION, DIFFUSION AND HARDENING OF THE Fe-Cr-C-NbC DEPOSITS ON 65G STEEL DURING VACUUM ANNEALING

¹Natalya N. Ivakhnenko, Ph.D. (Phys.-Math.), associate professor;

¹Maksim Yu. Badekin, Ph.D.(Eng.), senior lecturer;

¹Vyacheslav G. Borulko, Dr.Sc.(Eng.), professor;

¹Viktor I. Balabanov, Dr.Sc.(Eng.),

²Dmitriy V. Poruchikov, researcher

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. A promising direction of increasing the durability of the working parts of soil processing equipment is the use of gasothermal coatings of the Fe-Cr-C system, alloyed with dispersed carbides, but the initial state of the coating-substrate border is characterized by insufficient adhesion. (Research purpose) The research purpose is establishing regularities of evolution of microstructure, phase composition, elemental distribution and microhardness of surface coating system Fe-Cr-C-NbC-TiC-W-Mo on steel 65G in the process of vacuum annealing at 1000 degrees Celsius in the interval of shutter speeds 60-300 minutes to substantiate technological modes of hardening. (Materials and methods) Samples measuring 20×20 mm of 65G steel were sprayed with iron-based composite powder. Conducted vacuum annealing in the furnace SSHE-1,2,5. Comprehensive characterization included scanning electron microscopy with EMF analysis, metallography and Vickers microhardness measurement. (Results and discussion) It was found that with increasing exposure time, the sharp heterophase border transforms into a gradient diffusion zone up to 40-50 micrometers thick. The original dendritic structure of the surfacing is replaced by an equiaxial polygonalized structure. Carbides NbC, TiC, W, Mo undergo diffusion-controlled coalescence, reaching a size of 8-12 micrometers. The microhardness of the substrate is monotonously reduced from 290 to 198 on the Vickers scale due to tempering and decarbonization, while the surface hardness after stabilization at 300 minutes exposure increases to 752 on the Vickers scale due to the combined contribution of dispersion hardening, the release of secondary chromium carbides and carbon diffusion saturation. (Conclusions) The vacuum annealing mode at 1000 degrees Celsius for 300 minutes is technologically justified for the formation of a highly adhesive coating-substrate composite. The optimal combination of the increased hardness of the surfacing and the developed diffusion zone provides a significant increase in the operational life of parts of soil processing equipment operating in conditions of intensive abrasive wear.

Keywords: vacuum annealing, thermal spraying, Fe-Cr-C-NbC surfacing, 65G steel, diffusion, microstructure, microhardness, niobium carbides, wear resistance, agricultural machinery.

For citation: Ivakhnenko N.N., Badekin M.Yu., Borulko V.G., Balabanov V.I., Poruchikov D.V. Structural evolution, diffusion and hardening of the Fe-Cr-C-NbC deposits on 65G steel during vacuum annealing. *Machinery Technical Service*. 2026. 64. N3. 43-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-43-52. EDN: KFDZWI.

В современном сельскохозяйственном машиностроении проблема повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающего инструмента приобретает исключительную актуальность в связи с интенсификацией обработки тяжелых абразивных почв, увеличением скоростных режимов агрегатирования и необходимостью снижения эксплуатационных затрат [1].

Лемехи, долота, отвальные ножи и другие детали навесного оборудования плугов в процессе работы подвергаются комплексному воздействию абразивного износа, ударно-циклических нагрузок, коррозии в агрессивной почвенной среде и температурных перепадов, что приводит к преждевременному выходу из строя режущих и упорных поверхностей и, как следствие, к снижению качества обработки

почвы и увеличению расхода энергии на тягу [2].

Традиционные конструкционные стали, в том числе сталь 65Г, широко применяемые для изготовления деталей навесного оборудования благодаря сочетанию высокой прочности, удовлетворительной износостойкости и технологичности, в условиях интенсивного абразивного износа не обеспечивают требуемого ресурса, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов поверхностного упрочнения.

Среди современных технологий повышения износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин значительное внимание уделяется методам газотермического напыления, позволяющим формировать на поверхности стальных деталей защитные покрытия с управляемым химическим составом и структурой без существенного термического воздействия на основу [3].

Высокоуглеродистые железохромовые сплавы, легированные дисперсными карбидными фазами переходных металлов, представляют собой перспективный класс наплавочных материалов, обеспечивающих комплексное сопротивление абразивному и коррозионному износу за счет сочетания твердой аустенитно-мартенситной матрицы, насыщенной хромом, и высокодисперсных упрочняющих включений карбидов ниобия, титана, вольфрама и молибдена [4]. При этом газотермическое напыление на подложки из конструкционных сталей, в частности из стали 65Г, формирует в исходном состоянии гетерофазную границу раздела «покрытие–основа», характеризующуюся недостаточной адгезионной прочностью и склонностью к расслоению под действием ударных нагрузок, типичных для указанных выше условий эксплуатации [5].

В этой связи термическая обработка наплавленных покрытий, в частности вакуумный отжиг при повышенных температурах, выступает как необходимый технологический этап, направленный на формирование диффузионно-управляемого градиентного перехода между наплавкой и основой, снятие внутренних напряжений, перераспределение легирующих элементов и оптимизацию морфологии упрочняющих карбидных фаз [6].

Однако длительная высокотемпературная выдержка сопряжена с риском чрезмерной коалесценции дисперсных частиц, изменения фазового состава матрицы и, как следствие, непредсказуемой трансформации комплекса механических свойств покрытия, что требует детального изучения кинетики структурных и диффузионных процессов в зависимости от времени термической обработки [7].

Цель исследования – установить закономерности эволюции микроструктуры, фазового состава, элементного распределения и микротвердости наплавочного покрытия системы Fe-Cr-C-NbC-TiC-W-Mo, нанесенного методом газотермического напыления на сталь 65Г, в процессе вакуумного отжига при температуре 1000 °С в интервале выдержек 60–300 минут для обоснования технологических режимов упрочнения.

Материалы и методы. Для проведения детальных лабораторных исследований из рабочей зоны лапы культиватора КПС (47.930.002.01/15052-В), методом электроэрозионной резки были вырезаны образцы размером 20×20 мм. Выбор электроэрозионной резки обусловлен необходимостью получения образцов с минимальным тепловым воздействием на исходную структуру материала по сравнению с традиционными методами термической резки, при которых возникают высокие локальные температуры, способные вызвать изменение фазового состава, структурные превращения и предварительное диффузионное насыщение поверхностных слоев. Дальнейшую механическую обработку геометрических поверхностей образцов осуществляли на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) с применением обильного охлаждения режущей жидкостью, что обеспечивало сохранение исходной микроструктуры подложечного материала и исключало термическое влияние на зону, подлежащую наплавке.

Перед нанесением защитного покрытия поверхность образцов подвергали комплексной подготовке, включающей гидроабразивную обработку для удаления окалины, загрязнений и создания оптимальной шероховатости поверхности, способствующей улучшению адгезии наплавочного материала к подложке, с последующей очисткой в ультразвуковой ванне для удаления остатков абразивных частиц и жировых загрязнений.

Защитный слой наносили методом газотермического напыления на подложку из стали 65Г – высокоуглеродистой рессорно-пружинной стали, широко применяемой в сельскохозяйственном машиностроении благодаря сочетанию высокой прочности, упругости и износостойкости. Наплавочный материал представлял собой композицию на железной основе, легированную мас. % хромом (21,5–23,0), никелем (2,2–2,5), кремнием (1,2–1,4), марганцем (0,40–0,55), молибденом (0,40–0,45) и вольфрамом (0,24–0,27), с повышенным содержанием углерода (3,2–3,6) и введением дисперсных карбидных фаз – карбида ниобия (3,5–4,0) и карбида титана (2,7–3,0) [8].

Высокое содержание хрома обеспечивает фор-

мирование коррозионностойких карбидов и твердых растворов, никель и марганец повышают вязкость и технологичность материала, кремний и молибден способствуют вторичному твердению и жаропрочности, вольфрам формирует тугоплавкие карбиды, а введение карбидов ниобия и титана обусловлено необходимостью создания дисперсно-упрочненной структуры с высокой термостабильностью карбидных фаз [9].

После наплавки образцы подвергали термической обработке в виде высокотемпературного вакуумного отжига, проводимого в вакуумной печи модели СШВЭ-1.2,5, оснащенной резистивным нагревом на базе вольфрамовых нагревателей. Данный подход позволял осуществлять фазовые превращения в контролируемом режиме, блокировать формирование термических напряжений, способных деградировать адгезионные и функциональные свойства покрытия, и надежно исключать окислительные реакции на поверхности металла при повышенных температурах.

Для комплексного исследования структуры, фазового состава и механических свойств полученных покрытий применяли следующий комплекс методов.

Микротвердость измеряли на твердомере *DUROLINE-M* по методу Виккерса при нагрузке на индентор 1 кгс и времени выдержки под нагрузкой 10 с. На каждом образце проводили не менее 10 измерений с последующим расчетом среднего значения и среднеквадратичного отклонения.

Металлографическая подготовка образцов включала механическое шлифование наждачной бумагой различной зернистости с постепенным уменьшением размера абразивных частиц, завершающую алмазную полировку и финишную обработку пастой ГОИ на фетровом круге для получения зеркальной поверхности без деформационного упрочнения. Для выявления микроструктуры шлифы травили в 3-5% растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и локальный элементный анализ проводили на растровом двухлучевом электронном микроскопе *Versa 3D FEI*, оснащенный концентрическим детектором обратнорассеянных электронов (CBS) и энергодисперсионным спектрометром (ЭДС). Исследования выполняли в режиме обратнорассеянных электронов с использованием детектора CBS для получения высококонтрастных изображений с различением фаз по среднему атомному номеру, что позволило идентифицировать карбидные включения, диффузионные зоны и структурные компоненты различного химического состава. Детектор CBS обеспечивает превосходное разрешение и контраст при

анализе многофазных металлических систем, позволяя визуализировать распределение тяжелых элементов (*W, Mo, Nb*) в матрице и на границах раздела. ЭДС-анализ проводили для количественного определения химического состава матрицы, карбидных фаз и зоны диффузионного взаимодействия на границе «покрытие–подложка».

Результаты и обсуждение. Согласно результатам электронной сканирующей микроскопии (СЭМ) исходного состояния, наплавка занимает верхнюю часть изображения, а основа из стали 65Г располагается в нижней части изображения (рис. 1, а).

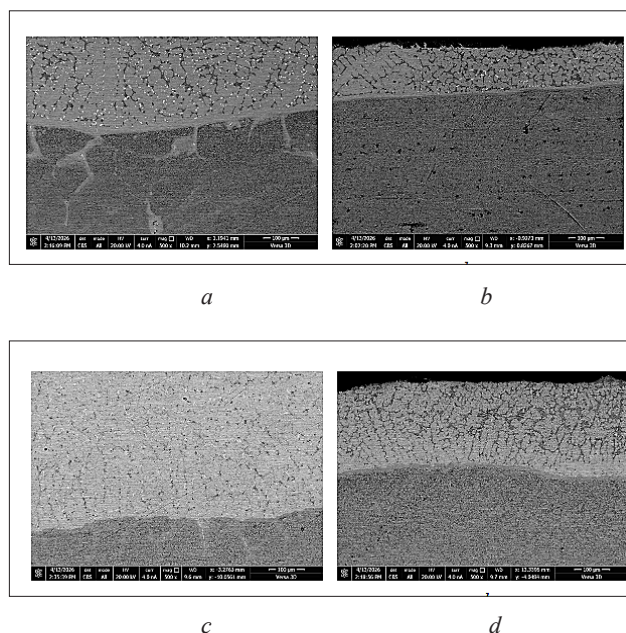


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения наплавки Fe–Cr–C–NbC на стали 65Г в исходном состоянии и после вакуумного отжига при 1000 °С: а – исходное состояние (газотермическое напыление без отжига); б – после отжига при 1000 °С в течение 60 мин; в – после отжига при 1000 °С в течение 180 мин; д – после отжига при 1000 °С в течение 300 мин

Fig. 1. Microstructure of the cross-section of the Fe–Cr–C–NbC deposit on 65G steel in the initial state and after vacuum annealing at 1000 °C: a – initial state (thermal spraying without annealing); b – after annealing at 1000 °C for 60 min; c – after annealing at 1000 °C for 180 min; d – after annealing at 1000 °C for 300 min

Структура наплавки носит характер мелкокристаллической дендритной морфологии, типичной для быстрого охлаждения расплавленных частиц при ударе о холодную подложку [10].

В толще наплавки прослеживается эпитаксиальная ориентация столбчатых зерен с развитой субструктурой, внутри которых равномерно диспергированы светлые точечные включения, идентифицируемые как карбид ниобия *NbC*, размером преимущественно 1-3 мкм. Параллельно в матрице присут-

ствуют более мелкие темные точечные включения, относимые к карбидам вольфрама, молибдена и титана, размером 0,5-2 мкм. Серые слоистые структуры, локализуемые преимущественно по границам дендритных ячеек, представляют собой скопления хромосодержащих соединений, образующихся вследствие микросегрегации хрома на последней стадии кристаллизации [11].

Граница раздела в исходном состоянии имеет четкий, резкий контраст, практически линейный профиль без выраженной диффузионной зоны, что свидетельствует о минимальном взаимодействии расплава с подложкой в условиях кратковременного термического воздействия, характерного для процесса напыления. Эти металлографические наблюдения находят прямое подтверждение в результатах рентгеноспектрального анализа, представленных на рисунке 2, а.

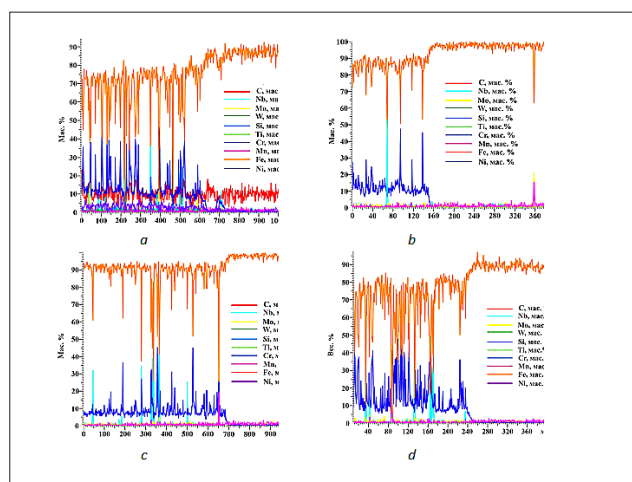


Рис. 2. Рентгеноспектральные профили распределения элементов по перпендикуляру к границе раздела «наплавка–основа» в исходном состоянии и после вакуумного отжига при 1000 °С: а – исходное состояние; б – после отжига в течение 60 мин; с – после отжига в течение 180 мин; д – после отжига в течение 300 мин

Fig. 2. X-ray spectral profiles of the distribution of elements perpendicular to the border between the weld deposit and the base in the initial state and after vacuum annealing at 1000 °С: а – initial state; б – after annealing for 60 min; с – after annealing for 180 min; д – after annealing for 300 min

Профиль распределения железа носит выраженный ступенчатый характер: в интервале, соответствующем наплавке, содержание железа колеблется в пределах 70-80 мас. %, после чего происходит резкий скачок до 90 мас. % и выше, что соответствует переходу к металлу подложки.

Хром показывает высокоамплитудные флуктуации в наплавке с локальными пиками до 35-40 мас. %, обусловленными попаданием зонда на хромосодержащие

карбидные фазы и микросегрегаты, тогда как в основе его содержание падает до следовых значений. Ниобий локализуется исключительно в узких высокоинтенсивных пиках до 35-40 мас. % в объеме наплавки, что однозначно подтверждает присутствие крупных включений NbC и их пиковое, статистически неравномерное распределение в исходном состоянии [12].

Углерод сохраняет относительно стабильный уровень 10-15 мас. % в наплавке, обеспечивая достаточное содержание углерода для формирования и сохранения карбидных фаз, в то время как никель, кремний и марганец присутствуют на уровне 1-5 мас. %, соответствующем заданному химическому составу. Вольфрам, молибден и титан регистрируются в виде редких низкоамплитудных пиков, что свидетельствует об их включении в состав мелкодисперсных карбидных частиц [13].

Совокупность структурных и элементных данных согласуется с результатами измерений микротвердости, представленными на рисунках 3, а; б.

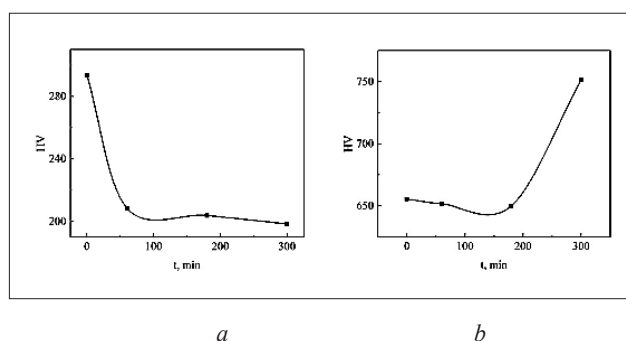


Рис. 3. Зависимость микротвердости подложки (сталь 65Г) и наплавки от времени вакуумного отжига при 1000°С: а – микротвердость подложки; б – микротвердость наплавки
Fig. 3. Dependence of the microhardness of the substrate (65G steel) and the surfacing on the time of vacuum annealing at 1000 °C: а – substrate microhardness; б – surfacing microhardness

В исходном состоянии твердость наплавки достигает 655 HV, что обусловлено совокупным действием дисперсионного упрочнения мелкими карбидами, высокой плотностью дендритных границ, внутренних напряжений, возникших при быстрой кристаллизации, и твердорастворного упрочнения хромом и другими легирующими элементами. Твердость подложки в исходном состоянии составляет 290 HV, что соответствует перлитно-ферритной структуре, стали 65Г с характерной для исходного проката комбинацией прочности и пластичности [14].

После вакуумного отжига в течение 60 мин при 1000 °С морфология композита претерпевает первичные, но уже вполне определенные трансформации, отраженные на рис. 1, б. Граница раздела утрачивает

ет свою первоначальную линейность, приобретая волнистый, неравномерный профиль, что является прямым следствием начала активного межфазного взаимодиффузионного взаимодействия.

В зоне контакта формируется диффузионный переходный слой шириной порядка 5-10 мкм, в пределах которого наблюдается плавное изменение контраста от более темного материала наплавки к светлому материалу основы. Наблюдаемый градиент контраста отражает процессы взаимной диффузии, а именно атомы железа мигрируют из подложки в наплавку, тогда как хром и никель диффундируют в противоположном направлении, что приводит к формированию диффузионной зоны с непрерывным изменением состава и образованию твердого раствора на границе раздела.

В наплавке, в приграничной зоне, начинает проявляться тенденция к перераспределению легирующих элементов, однако дендритная морфология матрицы сохраняется в целом. Светлые включения карбида ниобия сохраняют преимущественно равномерное распределение в объеме наплавки, однако в непосредственной близости от границы раздела фиксируется незначительное увеличение их размера до 3-4 мкм, что указывает на запуск процессов поверхностной диффузии и начальную стадию коалесценции частиц, обусловленную повышенной подвижностью атомов при высокой температуре [15].

Темные карбидные включения вольфрама, молибдена и титана в этот период претерпевают минимальные изменения, сохраняя исходную дисперсность. В материале основы, непосредственно примыкающем к границе раздела, формируется светлая безуглеродистая зона толщиной до 5-8 мкм, обусловленная декарбонизацией стали 65Г вследствие диффузии углерода в наплавку с высоким карбидным потенциалом, что приводит к образованию ферритной прослойки у границы.

В корреляции с указанными структурными превращениями происходит существенная модификация механических свойств компонентов композита, представленная на *рисунках 3, а; 3, b*. Твердость подложки снижается до 204 HV, что обусловлено процессами отпуска и начальной рекристаллизации материала основы, сопровождающимися снятием внутренних напряжений, снижением дислокационной плотности и начальной коагуляцией цементита в перлите. При этом твердость наплавки практически не изменяется и составляет 652 HV, поскольку компенсирующие механизмы – начальная рекристаллизация дендритной структуры, с одной стороны, и рост карбидных включений *NbC*, *W*, *Mo*, *Ti*, а также фор-

мирование дополнительных хромсодержащих фаз, с другой – находятся в динамическом равновесии, взаимно компенсируя свое влияние на твердость.

Увеличение продолжительности термической обработки до 180 мин приводит к качественно новому уровню структурных изменений, представленному на *рисунке 1, с*. Диффузионная зона значительно расширяется, достигая ширины 20-30 мкм, а граница раздела становится существенно размытой, геометрически неравномерной с выраженной шероховатостью на микроуровне.

В приграничной области наплавки происходит интенсивное перераспределение легирующих элементов, сопровождающееся частичным разрушением первоначальной дендритной субструктуры и формированием более равноосной зернистой структуры в результате процессов рекристаллизации и зернограничной диффузии [16].

Кинетика формирования карбидных фаз в данный период характеризуется выраженной тенденцией к коалесценции светлых включений *NbC*. Наиболее интенсивно этот процесс протекает вблизи интерфейса «покрытие–подложка» и по границам зерен, где мелкие частицы объединяются в агломераты, достигающие в размере 5-7 мкм. Процесс протекает благодаря интенсификации диффузии атомов ниобия и углерода на длительных временах выдержки; при этом укрупнение частиц выступает механизмом минимизации поверхностной энергии системы. В то время как серые слоистые структуры с хромом в объеме наплавки претерпевают морфологические изменения, темные карбиды *W*, *Mo* и *Ti* увеличиваются по схожему, но менее интенсивному сценарию до размеров 2-3 мкм.

Постоянство микротвердости наплавки (~652 HV) поддерживается за счет компенсации разупрочняющего эффекта начальной рекристаллизации дендритной матрицы упрочняющим влиянием коалесценции карбидов *NbC*, *W*, *Mo*, *Ti* и выделения дополнительных хромсодержащих фаз. На глубину до 25-30 мкм в подложку проникает диффузионная зона, где наблюдается переходная структура с дефицитом перлита и избытком феррита, а также начальная интеграция хрома и никеля в α -решетку железа.

Приведенный на *рисунке 2, с* спектральный профиль констатирует принципиальную модификацию характера границы раздела. В объеме наплавки содержание железа фиксируется на уровне ~90 мас. %, причем высокоамплитудные осцилляции сигнала обусловлены локальными фазовыми неоднородностями, попадаемыми в зону действия зонда. Переход к материалу основы осуществляется в расширенном

интервале и характеризуется однозначно диффузионным, а не дискретным профилем концентрации. В переходной области на протяжении 60-80 мкм наблюдается плавная эволюция содержания железа от ~ 90 до ~ 95 мас. %, что в количественном отношении подтверждает формирование протяженной диффузионной зоны, выявленной при электронно-микроскопическом исследовании.

Одновременно хром формирует выраженный диффузионный профиль, характеризующийся монотонным убыванием концентрации в указанной переходной зоне. Наблюдаемые на профиле множественные интенсивные всплески сигнала ниобия до 30-40 мас. % подтверждают активное перераспределение NbC в объеме наплавки. Укрупнение частиц при этом протекает по диффузионно-управляемому механизму коалесценции.

В переходной зоне и в материале основы сигнал ниобия полностью диссипирует, что указывает на отсутствие проникновения ниобия в основу. Углерод в наплавке сохраняет уровень 5-10 мас. %, при этом в переходной зоне фиксируется тенденция к его перераспределению, связанная с диффузией вглубь основы.

На данном этапе твердость подложки стабилизируется на уровне 202 HV, что свидетельствует о завершении основного этапа отпуска и достижении относительно равновесного зернистого состояния металла основы с пониженной по сравнению с исходной дислокационной плотностью. Твердость наплавки достигает локального минимума 650 HV, что коррелирует с завершением первичной рекристаллизации дендритной структуры и достижением максимальной однородности матрицы; при этом рост карбидов еще не достигает критических размеров, необходимых для существенного дополнительного дисперсионного упрочнения, вследствие чего суммарная твердость остается на плато [17].

Максимальная продолжительность отжига 300 мин при 1000 °C приводит к наиболее глубоким трансформациям, отображенным на *рисунке 1, d*. На данном этапе четкая граница раздела практически полностью диссипирует, трансформируясь в широкую градиентную переходную зону взаимодиффузии толщиной 40-50 мкм и более, в пределах которой наблюдается плавный, монотонный переход от структуры наплавки к структуре основы без резких контрастных границ.

В наплавке происходит полное разрушение исходной дендритной морфологии и формирование равноосной полигонизированной структуры с крупными зернами размером 15-25 мкм. Кинетика распределения светлых включений NbC на этом этапе ха-

рактеризуется выраженной агломерацией и перераспределением в объеме матрицы: частицы карбида ниобия коалесцируют в крупные конгломераты размером до 8-12 мкм, локализующиеся преимущественно вблизи границы раздела и по межкристаллитным границам рекристаллизованной матрицы, тогда как в центральной зоне наплавки их концентрация визуально снижается за счет миграции в зоны с пониженной плотностью дефектов [18].

Темные карбиды вольфрама, молибдена и титана также демонстрируют укрупнение до 3-5 мкм с тенденцией к образованию цепочечных структур вдоль границ зерен, что свидетельствует о диффузионно-управляемом росте частиц с участием межкристаллитной диффузии. Серые хромсодержащие слоистые структуры формируют разветвленную сеть, пронизывающую наплавку в направлении, перпендикулярном поверхности контакта, что обусловлено интенсивным диффузионным переносом хрома в глубину основы и образованием хромсодержащих фаз в объеме переходной зоны.

В материале основы диффузионная проницаемость достигает максимальных значений, что проявляется в формировании глубокой зоны структурных преобразований с полным исчезновением перлитной компоненты в приграничной области на глубину до 40-45 мкм и образованием твердого раствора хрома и никеля в α -железе с градиентным убыванием концентрации легирующих элементов по мере удаления от границы раздела.

Геометрия диффузионной зоны становится сложной, с формированием клиновидных участков проникновения наплавочного материала вглубь основы, что свидетельствует о протекании процессов зернограничного растворения и диффузионного смачивания границ зерен основного металла.

Рентгеноспектральный анализ для данного режима подтверждает максимальное размытие границы раздела (*рис. 2, d*). На интервале, соответствующем наплавке, содержание железа составляет 80-85 мас. %, после чего формируется плавный диффузионный фронт с увеличением концентрации железа до 90 мас. % и выше в материале основы. Ширина переходной зоны достигает 40-60 мкм при сохранении монотонности градиента. В объеме наплавки концентрация хрома демонстрирует наиболее существенные вариации с локальными максимумами до 40 мас. %. [19, 20, 21].

Выводы. Упрочнение наплавочного слоя достигается благодаря одновременному протеканию нескольких взаимосвязанных процессов. Ключевыми из них являются дисперсионное твердение, обусловленное коалесценцией тугоплавких карбидов и пре-

ципитацией вторичных хромсодержащих фаз типа $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6/(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$; насыщение матрицы углеродом из подложки по диффузионному механизму с увеличением содержания междоузельных атомов; завершение рекристаллизации с полигонизацией и снятием внутренних напряжений; создание градиентного переходного слоя, обеспечивающего эффективное перераспределение механических напряжений на границе раздела.

Анализ кинетики структурных превращений, характера элементного распределения и микромеханических свойств в совокупности свидетельствует о том, что режим вакуумного отжига при 1000 °C на протяжении 300 мин представляет собой технологически обоснованный подход к созданию высокоадгезионного и износостойкого композитного покрытия, применимого на рабочих органах почвообрабатывающей техники.

Перспективность разработанного подхода для практического применения в сельскохозяйственном машиностроении подтверждается тем, что оптимальное сочетание повышенной твердости наплавленного слоя (≥ 750 HV) и развитой диффузионной зоны сцепления с конструкционной основой создает условия для существенного повышения эксплуатационного ресурса деталей, функционирующих в условиях интенсивного абразивного износа и циклических нагрузок.

Библиографический список

1. Ивахненко Н.Н., Бадекин М.Ю., Борулько В.Г. и др. Оптимизация режимов вакуумного отжига для повышения износостойкости лемехов почвообрабатывающих орудий // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N3. С. 67-75. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-67-75.
2. Saglam S., Erdogdu A.E. Investigation of abrasive wear performance of AA7075/SiC metal matrix composites under different lubrication conditions. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2026. DOI: 10.1007/s13369-026-11280-4.
3. Cygan-Bączek E., Cygan S., Wyżga P., et al. Improvement in abrasive wear resistance of metal matrix composites used for diamond-impregnated tools by heat treatment. *Materials*. 2023. Vol. 16. N18. Art. 6198. DOI: 10.3390/ma16186198.
4. Zhai W., Bai L., Zhou R., et al. Recent progress on wear-resistant materials: designs, properties, and applications. *Advanced Science*. 2021. Vol. 8. N11. Art. 2003739. DOI: 10.1002/advs.202003739.
5. Tosun G., Buytoz S. Microstructural properties of Fe–Cr–C/NbC composite coating produced on medium carbon steel surface by tig coating process. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021. Vol. 46. 2231-2241. DOI: 10.1007/s13369-020-05049-6.
6. Kobernik N.V., Galinovskii A.L., Pankratov A.S., et al. Formation of a composite structure in a deposited Fe–Cr–C + TiC (NbC) metal. *Russian Metallurgy*. 2023. 657-664. DOI: 10.1134/S0036029523060216.
7. Valizade N., Farhat Z. A review on abrasive wear of aluminum composites: mechanisms and influencing factors. *Journal of Composites Science*. 2024. Vol. 8. N4. Art. 149. DOI: 10.3390/jcs8040149.
8. Moreira A.B., Vieira M.F., Ribeiro L.M.M. Design of wear resistant low carbon cast steel through in situ TiC–MMC local reinforcement. *Metals*. 2026. Vol. 16. N1. Art. 19. DOI: 10.3390/met16010019.
9. Zhang Y., Jiang Y., Sui Y., et al. Study on microstructure and abrasive wear properties of in-situ TiC reinforced high chromium cast iron matrix composite. *Materials Research Express*. 2022. Vol. 9. N3. Art. 036517. DOI: 10.1088/2053-1591/ac5b02.
10. Zhang Y., Xiao M., Zhou Y.M., et al. Microstructural transformation and tribological properties of laser-cladded FeNiCoCrTi0.5-xNbC high-entropy alloy-based composite coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2022. Vol. 31. 1232-1243. DOI: 10.1007/s11666-021-01288-7.
11. Wang S., Zheng Z., Long J., et al. Recent advances in wear-resistant steel matrix composites: A review of reinforcement particle selection and preparation processes. *Journal of Materials Research and Technology*. 2024. Vol. 29. 1779-1797. DOI: 10.1016/j.jmrt.2024.01.195.
12. Wang Y., Zhang J. A review of the friction and wear behavior of particle-reinforced aluminum matrix composites. *Lubricants*. 2023. Vol. 11. N8. Art. 317. DOI: 10.3390/lubricants11080317.
13. Sharma M., Dwivedi V.K. A review on performance analysis of aluminum matrix composites with different reinforcement materials. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2026. Vol. 73. Art. 91. DOI: 10.1186/s44147-025-00843-1.
14. Colaço F.H.G., Pintaude G. Wear regimes of Fe–Cr–C hardfacing alloys in microscale abrasion tests. *Tribology Letters*. 2022. Vol. 70. 47. DOI: 10.1007/s11249-022-01590-7.
15. Kumar T.S., Thankachan T., Raghu R., et al. Mechanical property analysis and dry sand three-body abrasive wear behaviour of AZ31/ZrO₂ composites produced by stir casting. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 52100. DOI: 10.1038/s41598-024-52100-9.
16. Mao X., Zhu P., Huang S., et al. Effect of Ti/Nb content on microstructure evolution and wear properties of in-situ (Ti, Nb)C reinforced composite coatings by plasma spray welding. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 484. Art. 130826. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.130826.
17. Kılıç M., Gök S., Adıyaman O. TiC–C İle kaplanan

aisi 1040 çelik yüzeyinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2024. Vol. 29. N1. 275-291. DOI: 10.53433/yyufbed.1351381.

18. Mao X., Zhu P., Sun X., et al. Effect of N on microstructure, nucleation mechanism and mechanical performance of (Ti, Nb)C particles in Fe-based composite coating via plasma spray welding. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 490. Art. 131177. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.131177.

19. Niu J.-J., Shen M.-X., Zhou H.-B., et al. Microstructure, tribological performance and oxidation behavior of laser cladding TiC/NiTi reinforced MMC coatings. *Tribology International*. 2025. Vol. 213. 111097. DOI: 10.1016/j.triboint.2025.111097.

20. Бадекин М.Ю., Борulyко В.Г., Балабанов В.И. и др. Поверхностное упрочнение лемехов плугов методом вакуумной термообработки // *Наука в центральной России*. 2025. Т. 75. N3. С. 125-135. DOI: 10.35887/2305-2538-2025-3-125-135.

21. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Ценч Ю.С., и др. Оценка износостойкости и ресурса двухслойных упрочненных почворезающих рабочих органов в различных почвенных условиях // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30. N4. С. 699-710. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.

References

1. Ivakhnenko N.N., Badekin M.Yu., Borulko V.G., et al. Optimization of vacuum annealing modes to increase the wear resistance of tillage tools. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 67-75 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-67-75.

2. Saglam S., Erdogan A.E. Investigation of abrasive wear performance of AA7075/SiC metal matrix composites under different lubrication conditions. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2026. DOI: 10.1007/s13369-026-11280-4.

3. Cygan-Bączek E., Cygan S., Wyżga P., et al. Improvement in abrasive wear resistance of metal matrix composites used for diamond-impregnated tools by heat treatment. *Materials*. 2023. Vol. 16. N18. Art. 6198. DOI: 10.3390/ma16186198.

4. Zhai W., Bai L., Zhou R., et al. Recent progress on wear-resistant materials: designs, properties, and applications. *Advanced Science*. 2021. Vol. 8. N11. Art. 2003739. DOI: 10.1002/advs.202003739.

5. Tosun G., Buytoz S. Microstructural properties of Fe-Cr-C/NbC composite coating produced on medium carbon steel surface by tig coating process. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2021. Vol. 46. 2231-2241. DOI: 10.1007/s13369-020-05049-6.

6. Kobernik N.V., Galinovskii A.L., Pankratov A.S., et al. Formation of a composite structure in a deposited Fe-

Cr-C + TiC (NbC) metal. *Russian Metallurgy*. 2023. 657-664. DOI: 10.1134/S0036029523060216.

7. Valizade N., Farhat Z. A review on abrasive wear of aluminum composites: mechanisms and influencing factors. *Journal of Composites Science*. 2024. Vol. 8. N4. Art. 149. DOI: 10.3390/jcs8040149.

8. Moreira A.B., Vieira M.F., Ribeiro L.M.M. Design of wear resistant low carbon cast steel through in situ TiC-MMC local reinforcement. *Metals*. 2026. Vol. 16. N1. Art. 19. DOI: 10.3390/met16010019.

9. Zhang Y., Jiang Y., Sui Y., et al. Study on microstructure and abrasive wear properties of in-situ TiC reinforced high chromium cast iron matrix composite. *Materials Research Express*. 2022. Vol. 9. N3. Art. 036517. DOI: 10.1088/2053-1591/ac5b02.

10. Zhang Y., Xiao M., Zhou Y.M., et al. Microstructural transformation and tribological properties of laser-cladded FeNiCoCrTi0.5-xNbC high-entropy alloy-based composite coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2022. Vol. 31. 1232-1243. DOI: 10.1007/s11666-021-01288-7.

11. Wang S., Zheng Z., Long J., et al. Recent advances in wear-resistant steel matrix composites: A review of reinforcement particle selection and preparation processes. *Journal of Materials Research and Technology*. 2024. Vol. 29. 1779-1797. DOI: 10.1016/j.jmrt.2024.01.195.

12. Wang Y., Zhang J. A review of the friction and wear behavior of particle-reinforced aluminum matrix composites. *Lubricants*. 2023. Vol. 11. N8. Art. 317. DOI: 10.3390/lubricants11080317.

13. Sharma M., Dwivedi V.K. A review on performance analysis of aluminum matrix composites with different reinforcement materials. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2026. Vol. 73. Art. 91. DOI: 10.1186/s44147-025-00843-1.

14. Colaço F.H.G., Pintaude G. Wear regimes of Fe-Cr-C hardfacing alloys in microscale abrasion tests. *Tribology Letters*. 2022. Vol. 70. 47. DOI: 10.1007/s11249-022-01590-7.

15. Kumar T.S., Thankachan T., Raghu R., et al. Mechanical property analysis and dry sand three-body abrasive wear behaviour of AZ31/ZrO₂ composites produced by stir casting. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Art. 52100. DOI: 10.1038/s41598-024-52100-9.

16. Mao X., Zhu P., Huang S., et al. Effect of Ti/Nb content on microstructure evolution and wear properties of in-situ (Ti,Nb)C reinforced composite coatings by plasma spray welding. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 484. Art. 130826. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.130826.

17. Kılıç M., Gök S., Adıyaman O. TiC-C İle kaplanan aisi 1040 çelik yüzeyinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.

2024. Vol. 29. N1. 275-291. DOI: 10.53433/yyufbed.1351381.

18. Mao X., Zhu P., Sun X. et al. Effect of N on microstructure, nucleation mechanism and mechanical performance of (Ti, Nb)C particles in Fe-based composite coating via plasma spray welding. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 490. Art. 131177. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2024.131177.

19. Niu J.-J., Shen M.-X., Zhou H.-B., et al. Microstructure, tribological performance and oxidation behavior of laser cladding TiC/Ni₃Ti reinforced MMC coatings. *Tribology International*. 2025. Vol. 213. 111097. DOI: 10.1016/j.triboint.2025.111097.

20. Badekin M.Yu., Borulko V.G., Balabanov V.I., et al. Surface hardening of plow shares by vacuum heat treatment method. *Science in the Central Russia*. 2025. Vol. 75. N 3. 125-135. DOI: 10.35887/2305-2538-2025-3-125-135.

21. Sidorov S.A., Mironov D.A., Tsench Yu.S., et al. Assessment of durability and service life of two-layer hardened earth cutters in various soil conditions. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. Vol. 30 N4. 699-710 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.

Заявленный вклад соавторов

Ивахненко Н.Н. – разработка концепции исследования, анализ результатов сканирующей электронной микроскопии и ЭДС-анализа, интерпретация закономерностей эволюции микроструктуры и диффузионных процессов, подготовка текста рукописи;

Бадекин М.Ю. – обработка и систематизация экспериментальных данных, анализ результатов металлографических исследований и измерений микротвердости, подготовка графического материала;

Боркулько В.Г. – научное руководство исследованием, формулирование цели и задач работы, обоснование технологических режимов вакуумного отжига, редактирование рукописи;

Балабанов В.И. – общее методологическое руководство, анализ и обсуждение полученных результатов, формулирование выводов;

Поручиков Д.В. – подготовка образцов, проведение газотермического напыления и вакуумного отжига, выполнение экспериментальной части исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Ivakhnenko N.N. – development of the research concept,

analysis of the results of scanning electron microscopy and EDS analysis, interpretation of the patterns of microstructure evolution and diffusion processes, preparation of the manuscript;

Badekin M.Yu. – processing and systematization of experimental data, analysis of the results of metallographic studies and microhardness

measurements, preparation of graphic material; Borulko V.G. – scientific supervision of the research, formulation of the goals and objectives of the work, justification of the technological modes of vacuum annealing, editing the manuscript;

Balabanov V.I. – general methodological guidance, analysis and discussion of the results obtained, drawing conclusions;

Poruchikov D.V. – preparation of samples, carrying out gas-thermal spraying and vacuum annealing, performing the experimental part of the study.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026

Статья принята к публикации 01.07.2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОСЛОЙНОГО ПЛАЗМЕННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ



¹Сергей Михайлович Ведищев, доктор технических наук, профессор;

²Григорий Игоревич Трифонов, кандидат технических наук,
e-mail: i@grifonov.ru;

¹Юрий Евгеньевич Глазков, кандидат технических наук, доцент;

¹Муатаз Мохаммед Али Раззак, аспирант

¹Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Российская Федерация

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация

Реферат. Современное машиностроение и агропромышленный комплекс повсеместно внедряют инновации для повышения износостойкости машин и оборудования. Ученые исследуют методы восстановления и упрочнения деталей, включая плазменное напыление и оплавление покрытий. Однако остается открытым вопрос о прочности и остаточных напряжениях покрытий после термического воздействия. Для достижения качественного упрочнения деталей, необходимы новые технологии. (Цель исследования) Определение ключевых технологических параметров технологии с послойным оплавлением слоев композитного покрытия при его плазменном напылении с формированием сжимающих остаточных напряжений. (Материалы и методы) Провели эксперименты по плазменному напылению и послойному оплавлению композитного покрытия на установке УПНС-3040. Материалы напыления и оплавления: порошок ПР-НХ17СР4-Р (40-100 микрон) и нанопорошок карбида кремния (30-40 нанометров). Образцы исследования – сталь 30ХГСА (ГОСТ 4543-2016), диаметром 15 миллиметров, длиной 75 миллиметров. Выполнили анализ с помощью программы Statistika, регрессионных алгоритмов, критериев Стьюдента и Фишера. (Результаты и обсуждение) Экспериментальное исследование режимов оплавления слоев композита в процессе упрочнения деталей машин позволило определить оптимальные параметры данного процесса: скорость перемещения плазматрона – 22,132 миллиметров в секунду, расстояние до слоя – 38,536 миллиметров. В точке оптимума остаточные напряжения составили 85,884 мегапаскалей. (Выводы) Скорость перемещения плазматрона в диапазоне 21-23 миллиметров в секунду способствует улучшению качества покрытия, повышая прочностные характеристики композиционного материала. Внедрение технологии послойного оплавления, оптимизированной в соответствии с регламентированными технологическими параметрами, обеспечивает значительное повышение долговечности механических компонентов.

Ключевые слова: плазменное напыление, послойное плазменное оплавление, композитное покрытие, скорость перемещения плазматрона, дистанция оплавления.

Для цитирования: Ведищев С.М., Трифонов Г.И., Глазков Ю.Е., Муатаз Мохаммед Али Раззак. Определение оптимальных технологических параметров послойного плазменного оплавления композитного покрытия // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 53-58. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-53-58. EDN: LADZVU.

DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PLASMA-LAYERED COMPOSITE COATING

¹Sergey M. Vedishchev, Dr.Sc.(Eng.), professor;

²Grigoriy I. Trifonov, Ph.D.(Eng.);

¹Yuriy E. Glazkov, Ph.D.(Eng.), associate professor;

¹Muataz Mohammed Ali Razzaq, postgraduate

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

²Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin", Voronezh, Russian Federation

Abstract. Modern engineering and agro-industrial complex everywhere introduce innovations to improve the wear resistance of machines and equipment. Scientists are investigating methods to restore and harden parts, including plasma spraying and coating melting. However, the question of the strength and residual stresses of the coatings after thermal exposure remains open. To achieve high-quality hardening of parts, new technologies are needed. (Research purpose) The research purpose is determining the key technological parameters of the technology with layer-by-layer melting of the composite coating layers during its plasma spraying with the formation of compressive residual stresses. (Materials and methods) Experiments were carried out on plasma spraying and layer-by-layer melting of the composite coating at the UPNS-3040 installation. Spraying and melting materials: PR-NKh17SR4-R powder (40-100 micrometers) and silicon carbide nanopowder (30-40 nanometers). The samples of the study are steel 30KhGSA (GOST 4543-2016), with a diameter of 15 millimeters, 75 millimeters long. The analysis was performed using the Statistika program, regression algorithms, the Student and Fisher criteria. (Results and discussion) Experimental study of the modes of melting layers of the composite in the process of hardening machine parts allowed to determine the optimal parameters of this process: the speed of the plasmatron is 22,132 millimeters per second, the distance to the layer is 38,536 millimeters. At the optimum point, the residual stresses were 85.884 megapascals. (Conclusions) The speed of the plasmatron in the range of 21-23 millimeters per second helps to improve the quality of the coating, increasing the strength characteristics of the composite material. The introduction of layer-by-layer melting technology, optimized in accordance with regulated technological parameters, provides a significant increase in the durability of mechanical components.

Keywords: plasma spraying, layer-by-layer plasma melting, composite coating, plasma torch movement speed, melting distance.

For citation: Vedishchev S.M., Trifonov G.I., Glazkov Yu.E., Muataz Mohammed Ali Razzaq. Determination of optimal technological parameters for plasma-layered composite coating. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N3. 53-58 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-53-58. EDN: LADZVU.

Современное отечественное машиностроение с каждым годом демонстрирует все больше инноваций, которые направлены на развитие и внедрение новых технологических решений [1].

Так, рассматривая агропромышленный комплекс, в частности машины и оборудование, которые эксплуатируются с высокой интенсивностью и в условиях абразивного изнашивания, можно утверждать, что существует технологическая задача по повышению износостойкости, а, следовательно, и ресурса их рабочих элементов [2].

Многие ученые в своих работах проводили иссле-

дования, которые освещали различные технологии и методы восстановления машин и механизмов [3, 4].

Другие работы посвящены методам упрочнения рабочих поверхностей деталей, повышения ресурса работы за счет разрабатываемых инновационных решений и т. д. [5, 6].

Проведены исследования технологии восстановления изношенных поверхностей деталей с применением плазменного напыления композитных покрытий [7].

Было установлено, что наносимое покрытие характеризуется высокими показателями твердости ввиду добав-

ления в наносимый материал карбидных включений [8].

Однако авторы не провели оценку адгезионной прочности сцепления, формируемого при восстановлении композита, и, следовательно, также не оценивали остаточные напряжения покрытия, полученном на поверхности детали. Анализ существующих технологий по восстановлению и упрочнению, природа которых заключается в модификации поверхностей деталей проведен в работе [9].

Ученые сравнили такие технологии, как азотирование, диффузионное упрочнение, гальваническое хромирование, газотермическое напыление, плазменное упрочнение и т. д. При этом сделан вывод о том, что самое технико-экономическое оправданное решение по упрочнению и восстановлению деталей машиностроительной отрасли – плазменное упрочнение. Данное заключение было учтено в проводимом исследовании. Вопросам применения и оценки в лабораторных условиях технологии плазменного нанесения композитных покрытий с последующим их оплавлением посвящены работы [10, 11].

Интеграция новой операции – оплавление покрытия в технологию упрочнения обусловлена повышением качества верхних слоев композита, достижением однородности структуры покрытия.

Остается открытым вопрос о величинах остаточных напряжений в покрытиях и их прочностных свойствах при повторном термическом воздействии на структуру уже сформировавшегося композитного покрытия. Отметим, что ни одна из технологий по нанесению функциональных покрытий, применяемых на современном этапе развития отечественного производства, не обеспечивает в полной мере упрочнение и восстановление детали техники [12].

Основанием для данного вывода служит технологический недостаток, проявляющийся в возникновении остаточных напряжений, преимущественно растягивающего характера. Это обстоятельство влечет за собой потребность в разработке и использовании специализированных методов обработки. Учитывая выше сказанное, была определена цель настоящих исследований.

Цель исследования – определение основных технологических параметров послойного оплавления наносимого плазменным методом напыления композитного покрытия со сжимающими остаточными напряжениями.

Материалы и методы. При проводимом эксперименте по плазменному напылению и послойному оплавлению композитного покрытия в качестве оборудования использовали установку плазменного нанесения покрытий УПНС-3040, изображенную на *рисунке*.



Рис. Установка УПНС-3040

Fig. Installation UPNS-3040

Наносимый материал для получения композита:

- матричная основа – порошок ПР-НХ17СР4-Р фракции 40-100 мкм компании АО «FeRus»;

- наполнитель – нанопорошок карбида кремния фракции 30-40 нм, производимого ООО «Инхимсинтез».

Образцы для нанесения покрытий изготовлены из стали 30ХГСА в соответствии с ГОСТ 4543-2016 (диаметр 15 мм, длина цилиндрической части 75 мм).

Для упрощения задачи проведения экспериментов был задействован программный модуль Statistika, в котором реализованы алгоритмы, необходимые для получения достоверных регрессионных значений. Значимость коэффициентов регрессии определяли по критерию Стьюдента, который представляет из себя статистический инструмент, применяемый для анализа и оценки статистической значимости различий между средними значениями в двух и более выборках [13].

Этот метод позволяет определить, насколько вероятно, что наблюдаемые различия между выборками являются случайными, а не отражают реальные различия в генеральных совокупностях. Адекватность полученной модели проверялась по критерию Фишера (F -критерий) [13].

Критерий Фишера представляет собой статистический инструмент, предназначенный для сопоставления дисперсий двух или более выборок. Он позволяет установить, являются ли различия в дисперсиях статистически значимыми, то есть не вызваны ли они исключительно случайными факторами.

Результаты и обсуждение. На основе детального анализа существующих плазменных технологий и их модификаций, которые нашли широкое применение в таких областях, как упрочнение и восстановление деталей техники машиностроительного комплекса, было принято решение о разработке инновационной технологии упрочнения. Так, взяв за основу стандартную технологию плазменного напыления порошкообразных материалов на поверхности

деталей, была внедрена новая технологическая операция – послойное плазменное оплавление.

Данное технологическое решение направлено на получение упрочняющего композита, который по своим параметрам будет обладать сжимающими остаточными напряжениями, что в свою очередь приведет к надежному и качественному соединению наносимого многослойного покрытия с стальной основой без образования отслоений и трещин. Известно, что оплавление композитных покрытий обладает возможностью повышать качество верхних слоев плазменных покрытий, что обусловлено обеспечением контроля глубины воздействия плазменной струи, при этом не изменяя технологические режимы упрочнения, а лишь варьируя временем воздействия на слои покрытия и расстоянием обрабатываемой поверхности [14].

В рамках данной работы были установлены области варьирования независимых переменных:

- скорость перемещения инструмента (плазматрона) $v(x_1)$ от 5 до 205 мм/с;
- расстояние от плазматрона до оплавляемого слоя композита $l(x_2)$ от 5 до 145 мм.

В качестве исследуемого критерия, на который необходимо оценить воздействие двух указанных выше факторов (v и l), были назначены остаточные напряжения σ , которые измеряются в МПа.

Технологические режимы плазменного нанесения покрытия были взяты на основе работы [12]:

- сила тока дуги плазматрона I , А – от 240 до 247 [15];
- расстояние от плазматрона до оплавляемого слоя композита l , мм – от 32 до 42;
- скорость перемещения плазматрона v , мм/с – от 5 до 7;
- массовый расход напыляемого материала, m , г/с – от 0,3 до 0,4.

Так, в ходе проводимых экспериментов была получена регрессионная модель в кодированных значениях, описывающая зависимость остаточных напряжений в многослойном композитном покрытии от скорости перемещения плазматрона и расстояние от плазматрона до оплавляемого слоя композита:

$$\sigma = -85,52 + 0,51x_1 - 0,95x_1^2 + 0,79x_2 + 0,96x_2^2 - 0,98x_1x_2. \quad (1)$$

Регрессионная модель (1) адекватно отражает влияние исследуемых факторов на остаточные напряжения в композитном покрытии при его послойном оплавлении, поскольку расчетное значение критерия Фишера ниже табличного [13].

Далее проводился корреляционный анализ модели (1), который показал, что зависимость между остаточными напряжениями композитного покрытия и анализируемыми факторами – множественный ко-

эффициент корреляции 0,99. Это подтверждает наличие статистически значимой взаимосвязи.

Проверка коэффициентов регрессионной модели (1) критерием Стьюдента показала их статистическую значимость. Значения критерия превышают критическое, которое равно 2,09, подтверждая влияние исследуемых факторов на зависимый критерий.

После проведения всесторонней оценки полученной математической модели (1), было проведено ее раскодирование в натуральные единицы:

$$\sigma = 85,88 - 0,04v - 0,00001v^2 + 0,003l - 0,001l^2 - 0,0001vl. \quad (2)$$

Далее провели расчеты по определению центра оптимума полученной модели (2). Для качественного проведения исследований и сокращения затрачиваемых при этом ресурсов был применен программный модуль *MathCad*.

Получили:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} f(v, l) &\rightarrow -0,022v - 0,0013l + 0,095, \\ \frac{d}{dx} f(v, l) &\rightarrow -0,0013v - 0,0031l + 0,1. \end{aligned} \quad (3)$$

Полученное выражение в матричной форме:

$$M := \begin{pmatrix} -0,0001 & 0,0001 \\ 0,0003 & -0,0001 \end{pmatrix}, v := \begin{pmatrix} 0,004 \\ 0,003 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Решение выражения (4) имеет вид:

$$\begin{aligned} so\ln &:= lsolve(M, v), \\ so\ln &= \begin{bmatrix} 22,132 \\ 38,536 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом по итогу проведенного экспериментального исследования технологических режимов оплавления слоев композита при упрочнении поверхностей деталей машин и их влияния на критерии качество получаемого покрытия, в частности, на остаточные напряжения, были определены координаты оптимума:

- скорость перемещения плазматрона – 22,132 мм/с;
- расстояние от плазматрона до оплавляемого слоя композита – 38,536 мм.

Значение функции отклика в точке оптимума составило – 85,884 МПа.

Оплавление каждого слоя многослойного композита при его нанесении в ходе упрочняющих операций необходимо проводить в установленных диапазонах технологических режимов напыления, но с увеличением скорости перемещения плазматрона до 21-23 мм/с [16,17].

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что в ходе упрочне-

ния поверхности детали процесс оплавления каждого слоя многослойного композитного материала должен осуществляться в рамках строго регламентированных технологических параметров напыления:

- сила тока дуги плазматрона I , А – от 240 до 247;
- расстояние от плазматрона до оплавляемого слоя композита l , мм – от 32 до 42.

При этом скорость перемещения плазматрона должна составлять 21-23 мм/с, что будет способствовать повышению критериев качества покрытия, таких как остаточные напряжения, и улучшению адгезионных характеристик между слоями композита, что, в свою очередь, обеспечивает повышение общей прочности и долговечности конечного изделия.

Учитывая полученные значения, можно с уверенностью утверждать, что предлагаемая технология упрочнения деталей машин с послойным оплавлением плазмонапыленного покрытия с применением установленных технологических режимов и материала покрытия демонстрирует высокую эффективность в контексте увеличения эксплуатационного ресурса механических компонентов машин и механизмов.

Библиографический список

1. Миронов Д.А. Технологические методы повышения ресурса и работоспособности быстроизнашиваемых рабочих органов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С. 118-123. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-118-123.
2. Andreeva L.L., Abramov S.V. Methods of mining machine components reconditioning and hardening by means of concentrated energy fluxes // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2023. N1. С. 7-15. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-7-15.
3. Bachurin N.D., Stepakin V.R., Buryak E.S. Gas-dynamic spraying in the restoration of machine parts. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2024. N4(168). 42-45. EDN: JBIYBS.
4. Шарифуллин С.Н., Байниязова А.Т., Абжаев М.М. Упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин виброплазменным методом // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. N2. С. 105-111. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-105-111.
5. Смаковский М.С. Упрочнение рабочих поверхностей бронзовых деталей наплавкой сплавом Inconel 625 с боридами // *Сварочное производство*. 2022. N7. С. 42-46. EDN: IZXFVV.
6. Ипатов А.Г., Харанжевский Е.В., Волков К.Г. и др. Применение металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных технологиях (на примере клапана ДВС) // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N1(150). С. 68-75. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-68-75.
7. Иванов К.С., Реснянский С.Г., Широухов А.В. Метод повышения ресурса деталей машин, подвергающихся механическому износу // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2021. N9. С. 417-422. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-9-417-422.
8. Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devoino O.G., et al. Restoration of worn surfaces of parts by plasma spraying of composite coatings // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. 2025. N1(88). С. 84-90. EDN: GXWVDD.
9. Прохоров А.П. Анализ современных методов модифицирования поверхностей // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2021. N24. С. 76-79. DOI: 10.26160/2474-5901-2021-24-76-79.
10. Кравченко И.Н., Карцев С.В., Кузнецов Ю.А. и др. Оптимизация параметров и режимов плазменного напыления и плазменного оплавления покрытий // *Новые огнеупоры*. 2021. N1. С. 51-56. EDN: GMCBBG.
11. Карцев С.В. Экспериментальное обоснование воздействия теплового потока дуги плазматрона на термический цикл нанесенного износостойкого покрытия // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2022. N3. С. 74-79. DOI: 10.52261/02346206_2022_3_74.
12. Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Пустоветов А.В. и др. Повышение износостойкости композиционного покрытия на основе железа при восстановлении специального оборудования // *Вестник ВСГУТУ*. 2024. N2(93). С. 92-99. DOI: 10.53980/24131997_2024_2_92.
13. Мустафаев Н.Г. Пути создания инновационной системы управления натурными экспериментами при проведении полигонных испытаний // *Вестник воздушно-космической обороны*. 2025. N2(46). С. 6-11. EDN: JIQQKR.
14. Опокин В.Г., Равилов Р.Г., Самойленко В.М. и др. Исследование влияния температуры отжига на структуру и свойства диффузионного покрытия // *Электрометаллургия*. 2023. N11. С. 32-38. DOI: 10.31044/1684-5781-2023-0-11-32-38.
15. Трифонов Г.И. Металломатричное композитное покрытие для восстановления и упрочнения поверхностей деталей плазменным напылением // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2023. Т. 19. N5(221). С. 225-230. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-5-225-230.
16. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Ценч Ю.С. и др. Оценка износостойкости и ресурса двухслойных упрочненных почворезающих рабочих органов в различных почвенных условиях // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30. N4. С. 699-710. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.
17. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А. и др. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. N2. С. 80-81. EDN: QAZOOP.

References

1. Mironov D.A. Technological methods for increasing the resource and efficiency of fast-wearing working bodies. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2021. Vol. 68. N4(45). 118-123 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-118-123.
2. Andreeva L.L., Abramov S.V. Methods of mining machine components reconditioning and hardening by means of concentrated energy fluxes. *News of Higher Educational Institutions. Mining Journal*. 2023. N1. 7-15. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-7-15.
3. Bachurin N.D., Stepakin V.R., Buryak E.S. Gas-dynamic spraying in the restoration of machine parts. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2024. N4(168). 42-45. EDN: JBIYBS.
4. Sharifullin S.N., Bainiyazova A.T., Abzhaev M.M. Strengthening the working parts of agricultural machines by the vibrating plasma method. *Machinery Technical Service*. 2024. Vol. 62. N2. 105-111 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-2-105-111.
5. Smakovsky M.S. Hardening of working surfaces of brass parts by surfacing with Inconel 625 with borides. *Svarochnoe Proizvodstvo*. 2022. N7. 42-46 (In Russian). EDN: IZXFFV.
6. Ipatov A.G., Kharanzhevsky E.V., Volkov K.G., et al. Application of Metal-Matrix Composites in Repair and recovery technologies (on the example of ice valve). *Machinery Technical Service*. 2023. Vol. 61. N1(150). 68-75 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-68-75.
7. Ivanov K.S., Resnyansky S.G., Shiroukhov A.V. Method of increasing the resource of machine parts under mechanical wear. *News of Tula State University. Technical Sciences*. 2021. N9. 417-422 (In Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-9-417-422.
8. Panteleenko F.I., Okovity V.A., Devoino O.G., et al. Restoration of worn surfaces of parts by plasma spraying of composite coatings. *Progressive Technologies and Engineering Systems*. 2025. N1(88). 84-90. EDN: GXWVDD.
9. Prokhorov A.P. Analysis of modern methods for modifying the surfaces. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2021. N24. 76-79 (In Russian). DOI: 10.26160/2474-5901-2021-24-76-79.
10. Kravchenko I.N., Kartsev S.V., Kuznetsov Yu.A., et al. Optimization of plasma deposition and coating plasma fusion parameters and regimes. *New Refractories*. 2021. N1. 51-56 (In Russian). EDN: GMCBGB.
11. Kartsev S.V. Experimental substantiation of the effect of the heat flux of the plasmatron arc on the thermal cycle of the applied wear-resistant coating. *Problems of Mechanical Engineering and Automation*. 2022. N3. 74-79 (In Russian). DOI: 10.52261/02346206_2022_3_74.
12. Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Pustovetov A.V., et al. Increasing the wear resistance of iron-based composite coating when restoring special equipment. *Essutn Bulletin*. 2024. N2(93). 92-99 (In Russian). DOI: 10.53980/24131997_2024_2_92.
13. Mustafayev N.G. Ways to create an innovative system for managing field experiments during range tests. *Bulletin of Aerospace Defense*. 2025. N2(46). 6-11 (In Russian). EDN: JIQQKR.
14. Opokin V.G., Ravilov R.G., Samoilenko V.M., et al. Research of the influence of annealing temperature on the structure and properties of diffusion coating. *Electrometallurgy*. 2023. N11. 32-38 (In Russian). DOI: 10.31044/1684-5781-2023-0-11-32-38.
15. Trifonov G.I. Metal matrix composite coating for surface restoration and hardening by plasma spraying. *Hardening Technologies and Coatings*. 2023. Vol. 19. N5(221). 225-230 (In Russian). DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-5-225-230.
16. Sidorov S.A., Mironov D.A., Tsench Yu.S., et al. assessment of durability and resource of two-layer hardened earth cutters in various in various soil conditions. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. Vol. 30 N4. 699-710 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.
17. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., et al. Using bimetallic steels for increasing the resource of working organs in agricultural machinery. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2013. N2. 80-81 (In Russian). EDN: QAZOOP.

Заявленный вклад соавторов

Ведищев С.М. – формулирование концепции исследования;
 Трифонов Г.И. – инициация исследования;
 Глазков Ю.Е. – подготовка материалов и методов исследования;
 Муатаз Мохаммед Али Раззак – оформление и подготовка текста статьи.
 Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Vedishchev S.M. – formulating the research concept;
 Trifonov G.I. – research initiation;
 Glazkov Yu.E. – preparation of research materials and methods;
 Muataz Mohammed Ali Razzaq – design and preparation of the text.
 All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026
 Статья принята к публикации 21.07.2026

Трибологическая оценка соединений гидравлических шестеренных насосов, восстановленных HVOF-методом



¹Юрий Алексеевич Кузнецов, доктор технических наук, профессор;

¹Дмитрий Дмитриевич Яковлев, научный сотрудник;

¹Алексей Васильевич Добычин, старший преподаватель;

¹Алексей Александрович Грибакин, научный сотрудник;

²Игорь Николаевич Кравченко, доктор технических наук, профессор,

e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru;

³Василий Сергеевич Пичев, главный технолог

¹Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина,
г. Орел, Российская Федерация

²Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Российская Федерация;

³АО «Плакарт», Москва, г. Щербинка, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-29-00211,
<https://rscf.ru/project/25-29-00211/>)

Реферат. В статье обосновали возможность применения технологии сверхзвукового газопламенного HVOF-напыления в ремонтном производстве для восстановления изношенных деталей гидравлических шестеренных насосов. Показали основные преимущества высокоскоростного газопламенного напыления по сравнению с дозвуковыми газотермическими методами формирования покрытий. Привели результаты сравнительных трибологических исследований деталей шестеренных насосов с покрытиями, полученными из порошковых материалов различного фазово-химического состава. (Цель исследования) Трибологическая оценка соединений «цапфа шестерни–опорная втулка» гидравлических шестеренных насосов типа НШ-У, восстановленных HVOF-методом с использованием порошковых материалов различного фазово-химического состава. (Материалы и методы) Провели сравнительные трибологические исследования гидравлических шестеренных насосов НШ-32У-З с деталями, восстановленными сверхзвуковым газопламенным напылением. В качестве эталона для сравнения использовали новые серийные насосы. Применили для нанесения порошковых материалов различного состава роботизированный комплекс «HVOF Плакарт-HV2». Трибологические испытания насосов проводили на стенде КИ 4815М. Оценили микротвердость покрытий с помощью микротвердомера Micro Vickers Hardness tester Zwick / Roell ZHVμ по общепринятой методике. (Результаты и обсуждение) Установили, что интенсивность изнашивания деталей с покрытиями, полученными HVOF-методом из порошков системы WC–Co–Cr в два-три раза ниже, чем у новых деталей без покрытий. Высокая износостойкость этих покрытий обусловливается наличием в их структуре карбида вольфрама. Применение высокотвердых покрытий приводит к ускоренному изнашиванию сопряженных деталей, что накладывает ограничения на их использование. (Выводы) Для восстановления цапф шестерен насосов рекомендуется использовать порошковое покрытие марки «Плакарт-01.20 Н», позволяющее повысить износостойкость цапф в 1,2 раза и обеспечить долговечность соединений «цапфа шестерни – опорная втулка» насоса на уровне серийных моделей.

Ключевые слова: HVOF-напыление, шестеренный насос, деталь, покрытие, интенсивность изнашивания, относительная износостойкость.

Для цитирования: Кузнецов Ю.А., Яковлев Д.Д., Добычин А.В., Грибакин А.А., Кравченко И.Н., Пичев В.С. Трибологическая оценка соединений гидравлических шестеренных насосов, восстановленных HVOF-методом // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 59-66. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-59-66. EDN: LNASSX.

TRIBOLOGICAL EVALUATION OF HYDRAULIC GEAR PUMP CONNECTIONS RESTORED BY THE HVOF METHOD

¹Yuriy A. Kuznetsov, Dr.Sc.(Eng.), professor;

¹Dmitriy D. Yakovlev, research fellow;

¹Aleksey V. Dobyichin, senior lecturer;

¹Aleksey A. Gribakin, research fellow;

²Igor N. Kravchenko, Dr.Sc.(Eng.), professor

³Vasily S. Pichev, chief technologist

¹Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin,
Orel, Russian Federation

³Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²JSC "Plakart", Moscow, Shcherbinka, Russian Federation

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 25-29-00211, <https://rscf.ru/project/25-29-00211/>)

Abstract. The paper substantiated the possibility of using the technology of supersonic gas-flame HVOF spraying in repair production to restore worn parts of hydraulic gear pumps. The main advantages of high-speed gas flame spraying were shown in comparison with subsonic gasothermal methods of coating formation. The results of comparative tribological studies of gear pump parts with coatings obtained from powder materials of various phase-chemical composition were given. (Research purpose) The research purpose is tribological evaluation of joints "cog gear-support sleeve" of hydraulic gear pumps of the NSH-U type, restored by the HVOF method using powder materials of various phase-chemical composition. (Materials and methods) Comparative tribological studies of hydraulic gear pumps NSH-32U-3 with parts restored by supersonic flame spraying are presented. As a benchmark for comparison, new serial pumps were used. The robotic complex "HVOF Plakart-HV2" was used to apply powder materials of various compositions. Tribological tests of pumps were carried out at the stand KI-4815M. The microhardness of the coatings was evaluated using the Micro Vickers Hardness tester Zwick/Roell ZHV μ microhardometer according to the generally accepted method. (Results and discussion) It was found that the wear intensity of parts with coatings obtained by the HVOF method from WC-Co-Cr powders is two to three times lower than that of new parts without coatings. The high wear resistance of these coatings is due to the presence of tungsten carbide in their structure. The use of high-hard coatings leads to accelerated wear of conjugated parts, which imposes restrictions on their use. (Conclusions) To restore the cogs of pumps, it is recommended to use a powder coating of the Plakart-01.20-N brand, which allows to increase the durability of the cogs by 1.2 times and ensure the durability of the cogs of the gear-supporting sleeve of the pump at the level of serial models.

Keywords: HVOF spraying, gear pump, part, coating, wear rate, relative wear resistance.

For citation: Kuznetsov Yu.A., Yakovlev D.D., Dobyichin A.V., Gribakin A.A., Kravchenko I.N., Pichev V.S. Tribological evaluation of hydraulic gear pump connections restored by the HVOF method. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N3. 59-66 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-59-66. EDN: LNASSX.

Восстановление и упрочнение изношенных компонентов гидроагрегатов тракторов и сельскохозяйственных машин представляет собой актуальную задачу, реализация которой ведет к существенной экономии на ремонте и приобретении новых деталей [1].

Эта проблема особенно значима в условиях расту-

щей стоимости запасных частей и необходимости поддержания работоспособности парка техники при ограниченных бюджетных возможностях сельскохозяйственных товаропроизводителей. В современных экономических реалиях продление ресурса действующих узлов позволяет минимизировать прямые затраты на закупку новых комплектующих, сократить

продолжительность простоя техники в ремонте, повысить общую рентабельность сельскохозяйственного производства. Кроме того, технологически обоснованное восстановление деталей способствует:

- сохранению эксплуатационных характеристик гидроагрегатов на уровне, близком к заводскому;
- снижению экологической нагрузки за счет уменьшения объемов утилизируемых изношенных узлов;
- поддержанию парка техники в работоспособном состоянии без необходимости полной замены оборудования.

Актуальность задачи усиливается тем, что гидроагрегаты относятся к числу наиболее нагруженных узлов в тракторах и сельскохозяйственной технике. Их интенсивная эксплуатация в сложных условиях (повышенная запыленность, перепады температур, воздействие агрессивных сред) приводит к ускоренному изнашиванию. В результате уже через несколько сезонов многие компоненты требуют ремонта или замены.

Таким образом, системное решение задачи по восстановлению и упрочнению изношенных компонентов гидроагрегатов – это не просто способ экономии средств, но и стратегический инструмент поддержания технической оснащенности аграрного сектора, обеспечивающий бесперебойность производственных процессов и устойчивость сельхозпредприятий в долгосрочной перспективе.

В гидравлических системах тракторов, сельскохозяйственных и других машин широко используются шестеренные насосы типа НШ-У. Структурная схема насосов типа НШ-У изображена на *рисунке 1* [2].

Во время работы шестеренного насоса масло заполняет пространство между зубьями вращающихся шестерен, после чего подается в рабочую полость. Валы-шестерни (ведущая и ведомая) осуществляют вращение в опорных втулках, размещенных внутри корпуса насоса.

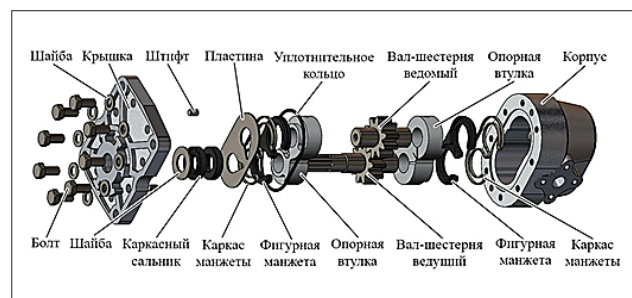


Рис. 1. Компоненты гидронасоса типа НШ-У

Fig. 1. Components of the hydraulic pump type NSh-U

Наибольший износ указанных деталей наблюдается на наружных венцах шестерен и поверхностях цапф [3].

Для их изготовления применяется сталь марки 18 ХГТ. В процессе производства шестерни подвергаются цементации (глубина 0,9-1,5 мм), а затем закаливают до достижения твердости 58-64 HRC. Для изготовления опорных втулок используют алюминиевый антифрикционный сплав АОЗ-7 [4].

Пара «цапфа шестерни–опорная втулка» в ходе эксплуатации подвергается гидроабразивному изнашиванию. При нарушениях технологии обработки или сборки насоса возникает риск схватывания трущихся поверхностей вследствие полусухого трения [5].

Согласно данным литературных источников, износ внешней поверхности цапф ведущей и ведомой шестерен насосов типа НШ-У варьируется в диапазоне от 0,08 до 0,28 мм [6].

Работоспособность изношенных цапф шестерен может быть восстановлена с помощью ряда известных методов: электроконтактной приварки ленты, газопламенного напыления, железнения, хромирования [7].

Среди ключевых недостатков существующих методов можно выделить низкую прочность сцепления покрытий с основой, ограниченный срок службы восстановленных деталей, экологическую опасность применяемых химических составов электролитов; высокую трудоемкость подготовки поверхностей перед нанесением покрытий и т. д. [8].

Ввиду указанных недостатков оптимальным решением для восстановления изношенных цапф шестерен гидронасосов является *HVOF*-метод сверхзвукового газопламенного напыления, позволяющий избежать большинства проблем, присущих другим способам восстановления.

Основное преимущество *HVOF*-напыления над дозвуковыми технологиями заключается в возможности получения покрытий принципиально иного качества – более плотных, низкопористых, с высокими адгезионной и когезионной прочностью [9].

Преимущество *HVOF*-напыления перед дозвуковыми газотермическими методами объясняется спецификой процесса: напыляемые порошковые частицы взаимодействуют с поверхностью детали на высоких скоростях и в крайне короткие временные промежутки. При этом они имеют более низкую температуру и подвергаются меньшему окислению, что в совокупности обеспечивает существенное улучшение характеристик формируемых покрытий [10].

Цель исследования – трибологическая оценка соединений «цапфа шестерни–опорная втулка» гидравлических шестеренных насосов типа НШ-У, восстановленных *HVOF*-методом с использованием порошковых материалов различного фазово-химического состава.

Материалы и методы. Для стендовых испытаний были взяты гидравлические шестеренные насосы НШ-32У-3 с деталями, восстановленными *HVOF*-методом (поверхности цап ведущей и ведомой шестерен). В качестве контрольной группы выступали насосы, укомплектованные новыми серийными деталями, которые служили базой для сравнительного анализа.

Напыление покрытий на цапфы шестерен проводили при помощи роботизированного комплекса для сверхзвукового газопламенного напыления *HVOF* Плакарт-HV2 на производственной базе АО «Плак-арт» Москва (рис. 2).

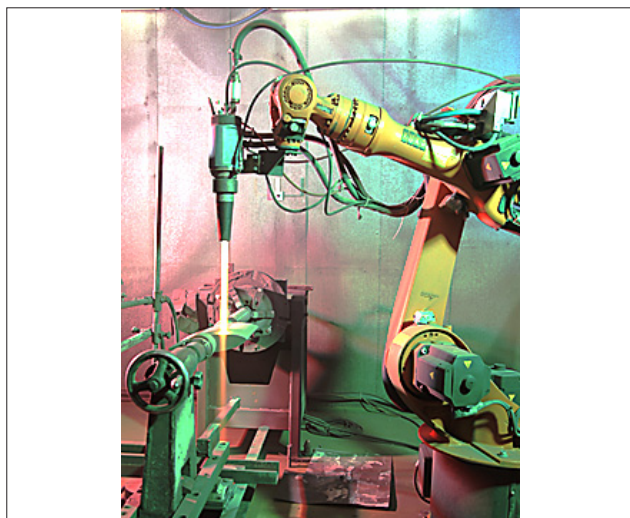


Рис. 2. Манипулятор напылительной системы *HVOF* «Плак-арт-HV2» с горелкой

Fig. 2. Manipulator of the *HVOF* spraying system «Plakart-HV2» with a torch

Марки напыляемых порошков и режимы их нанесения приведены в таблице 1.

Их химический состав – в таблице 2. Дисперсность порошковых материалов системы WC–Co–Cr

Таблица 1 Режимы формирования покрытий Coating formation modes				
Марка порошка	Расход порошка, г/с	Дистанция напыления, мм	Расход кислорода, л/мин	Расход керосина, л/ч
WC–Co–Cr 64-23-10	1,6	300	810	22
WC–Co–Cr 86-10-4	1,8	300	830	23
Плак-арт-01.20-Н	1,35	300	810	22
X14Н7СЗР3	1,2	300	830	18

составляла 15-45 мкм, порошков марок ПР-X14Н7СЗР3 и Плак-арт-01.20-Н – 20-53 мкм.

Сравнительные испытания насосов выполняли с учетом требований руководящего документа РД 70.0009.006-85 и стандарта ГОСТ 23.224-86.

Таблица 2 Химический состав порошков Chemical composition of powders											
Марка порошка	Массовая доля основных компонентов, %										
	W	Fe	Co	Cr	Ni	Nb	Mo	B	C	Mn	Si
WC–Co–Cr 64-23-10	Осн.	–	23	10	–	–	–	–	3	–	–
WC–Co–Cr 86-10-4	Осн.	–	10	4	–	–	–	–	5,3	–	–
Плак-арт-01.20-Н	15	Осн.	–	25	–	12	6	5	4	3	2
X14Н7СЗР3	–	Осн.	–	14	7	–	–	3	2	–	3

Эксперименты проводили на испытательном стенде КИ-4815М на режимах, указанных в таблице 3.

Таблица 3 Режимы испытаний насосов / Pump test modes	
Показатели	Значение
Номинальное давление, МПа	14–16
Частота вращения вала привода насоса, мин ^{–1}	1200 ± 10
Температура рабочей жидкости, °С	50 ± 5
Продолжительность испытаний, ч	30

Для интенсификации испытаний в рабочую жидкость, представляющую собой минеральное масло М10Г2 в соответствии с рекомендациями, добавляли абразивный материал в концентрации 2 г/л, приготовленный из кварцевого песка (дисперсность 5-20 мкм – 70% и 30-40 мкм – 30%) [11].

Состав абразива определен, исходя из типичного состава естественных загрязнений гидравлических систем тракторов. При этом основную долю таких примесей составляет почвенная пыль (кварц и глинозем).

В ходе испытаний использовали гидравлическую систему подачи масла без фильтров. Масло подавалось из бака-смесителя, где благодаря постоянному перемешиванию на протяжении всего эксперимента достигалась однородная концентрация абразивного материала.

По завершении испытаний насосы разбирали для проведения измерений. При контроле геометрических параметров цапфы измеряли микрометром МР 50 в соответствии с ГОСТ 4381-87, втулки – нутромером 18-50 по ГОСТ 9244-75.

Интенсивность изнашивания деталей насосов J определяли по формуле:

$$J = I / L, \quad (1)$$

где I – линейный износ серийного и восстановленного соединения, м; L – путь трения в соединении, соответствующий износу I , м.

Относительную износостойкость K_i поверхностей деталей рассчитывали по формуле:

$$K_i = J_c / J_{cy}, \quad (2)$$

где J_c – интенсивность изнашивания серийного соединения; J_{cy} – интенсивность изнашивания восстановленного соединения.

Измерение микротвердости сформированных покрытий осуществляли на микротвердомере *Micro Vickers Hardness tester Zwick / Roell ZHVμ* по общепринятой методике [12].

Результаты и обсуждение. Результаты исследований износостойкости цапф шестерен гидронасосов, восстановленных HVOF-методом, представили на рисунках 3, 4. Экспериментальные данные, полученные в ходе тридцатичасовых сравнительных стендовых испытаний насосов, показали, что износ серийных цапф шестерен без покрытий составил около 0,152 мм.

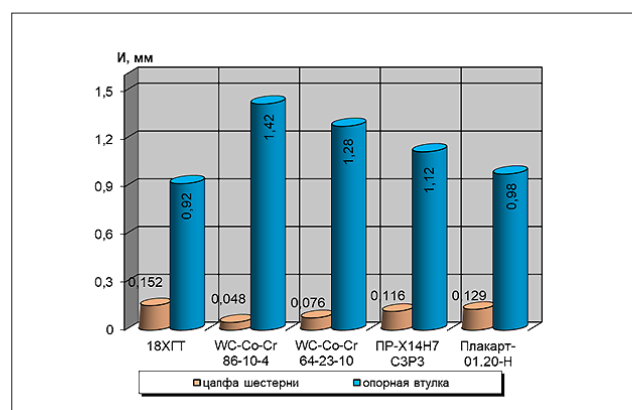


Рис. 3. Износ деталей соединения «цапфа шестерни – опорная втулка»

Fig. 3. Wear of the pinion-to-bearing sleeve connection parts

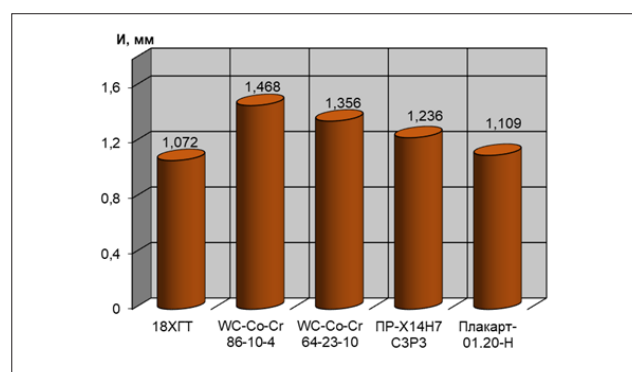


Рис. 4. Суммарный износ соединения «цапфа шестерни – опорная втулка»

Fig. 4. Total wear of the pinion-to-bearing sleeve connection

Минимальный износ отмечен у цапф с покрытиями, сформированными из порошковых материалов системы $WC-Co-Cr$. В частности, при применении порошка $WC-Co-Cr$ 86-10-4 величина износа составила 0,048 мм, что в 3,2 раза ниже показателя для серийной цапфы без покрытия. Указанная особенность обусловлена наличием твердых частиц WC в структуре нанесенных покрытий [13].

Полученные результаты хорошо согласуются с данными по микротвердости покрытий (рис. 5).

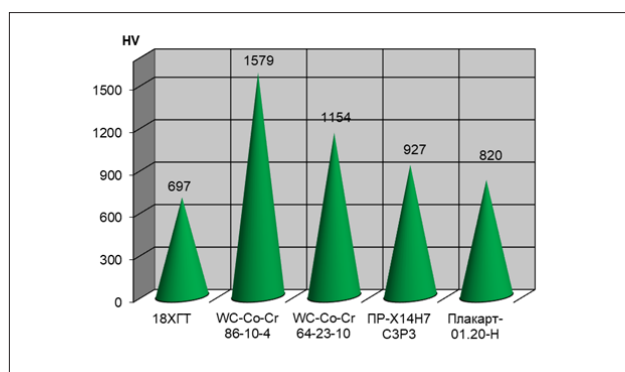


Рис. 5. Микротвердость покрытий

Fig. 5. Microhardness of coatings

Результаты исследований свидетельствуют о том, что микротвердость является ключевым фактором, определяющим износостойкость покрытий [14].

Согласно имеющимся данным, использование метода напыления порошковой композиции системы $WC-Co$ приводит к повышению ресурса деталей в полтора-два раза [15].

В ходе исследований установили, что нанесение высокотвердых покрытий на цапфы шестерен вызывает увеличение интенсивности изнашивания сопряженных опорных втулок, выполненных из алюминиевого сплава. В серийном соединении насоса износ опорной втулки составил 0,92 мм, тогда как в соединении с цапфой с покрытием, полученным из порошка $WC-Co-Cr$ 86-10-4, – 1,42 мм.

По данным измерений, суммарный износ в серийном соединении «цапфа шестерни – опорная втулка» составил 1,072 мм. В восстановленном соединении аналогичный показатель достиг 1,468 мм. При этом для всех напыленных покрытий, обладающих высокой твердостью, наблюдается аналогичная тенденция в характере износа рассматриваемых соединений (табл. 4).

Для восстановления изношенных цапф шестерен рекомендуется использование порошкового материала марки «Плакарт-01.20-Н», поскольку полученные покрытия позволяют обеспечить максимальную долговечность соединения «цапфа шестерни–опор-

ная втулка» при допустимой интенсивности изнашивания сопряженных деталей гидронасоса.

Таблица 4

Table 4

Интенсивность изнашивания и относительная износостойкость испытываемых соединений «цапфа шестерни–опорная втулка»

Wear intensity and relative wear resistance of the tested pinion-bearing bushing connections

Марка напыляемого порошка	Интенсивность изнашивания соединения $J \cdot 10^{10} \frac{(\text{износ}, \text{м})}{(\text{путь трения}, \text{м})}$		Относительная износостойкость	
	Цапфа шестерни	Соединение	Цапфа шестерни	Соединение
WC–Co–Cr 86-10-4	0,26	8,01	3,19	0,73
WC–Co–Cr 64-23-10	0,41	7,40	2,02	0,79
Плакарт-01.20-Н	0,70	6,05	1,19	0,97
ПР-Х14Н7 СЗРЗ	0,63	6,74	1,32	0,87
Без покрытия (18ХГТ)	0,83	5,85	1,0	1,0

Валы-шестерни с поверхностями, напыленными порошком марки «Плакарт-01.20-Н», представили на рисунке 6.

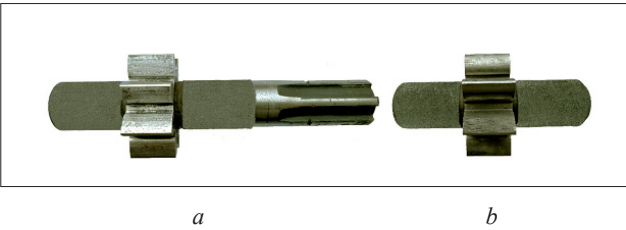


Рис. 6. Общий вид шестерен гидронасоса с восстановленными цапфами: а – ведущая; б – ведомая

Fig. 6. General view of hydraulic pump gears with restored journals: a – leading; b – driven

Выводы. Сравнительные трибологические испытания насосов показали, что цапфы шестерен с напыленными покрытиями системы WC–Co–Cr изнашиваются в два-три раза медленнее, чем серийные детали. Высокая износостойкость обусловлена наличием в структуре покрытий карбида вольфрама.

Вместе с тем применение высокотвердых покрытий приводит к ускоренному изнашиванию сопряженных алюминиевых втулок, что накладывает ограничения на их использование. Для восстановления цапф шестерен насосов рекомендуется использовать порошковое покрытие «Плакарт-01.20-Н». Это позволяет повысить износостойкость цапф в 1,2 раза и обеспечить долговечность исследуемых соединений насоса на уровне серийных моделей.

Библиографический список

1. Варенов К.А., Коншин В.М. Анализ и мотивация создания предприятий по восстановлению гидроагрегатов ДСМ // Инновации. Наука. Образование. 2022. N67. С. 144-149. EDN: QYFKLV.

2. Логачев В.Н. Исследование триботехнических характеристик восстановленных и упрочненных шестеренных насосов типа НШ-У // Агротехника и энергообеспечение. 2021. N3(32). С. 49-57. EDN: YGENQM.

3. Толмачева И.И. Неисправности насосов типа НШ-50У // Актуальные исследования. 2022. N15(94). С. 9-11. EDN: EDRJKQ.

4. Морозов А.В., Еремеев А.Н., Мушарапов Д.Р. и др. Применение электромеханической закалки для упрочнения рабочих поверхностей шлицевых втулок привода шестеренного насоса НШ-50 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. N6. С. 250-256. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-250-256.

5. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. Анализ причин потери работоспособности и износа деталей гидравлического шестеренного насоса НШ-32А // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. N2(26). С. 62-70. EDN: EXEGZH.

6. Зуевский В.А., Климяк Д.О., Шемберев И.А. Причины потери работоспособности шестерчатого насоса и методы их устранения // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. N3(140). С. 98-107. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-3-98-107.

7. Иванчиков Ю.В., Доброхотов Ю.Н., Андреев Р.В. и др. Определение доремонтного ресурса насосов гидросистемы // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. N25. С. 185-192. DOI: 10.48612/vch/k85b-xb9r-dt5h.

8. Логачев В.Н., Титов Н.В., Коломейченко А.В. Восстановление деталей шестеренных насосов типа НШ-К комбинированным методом // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2023. N11. С. 3-6. DOI: 10.31044/1684-2561-2023-0-11-3-6.

9. Rannetbauer W., Hubmer S., Hambrock C., et al. Predictive modelling of critical variables for improving HVOF coating using gamma regression models. Journal of Mathematics in Industry. 2024. Vol. 14. N7. DOI:10.1186/s13362-024-00146-9.

10. Chang L., Wang W., Ma D., et al. Deposition effects and interface structure of HVOF-sprayed multimodal WC-CoCr coatings. Journal of Materials Research. 2023. Vol. 38. N19. 4345-4356. DOI: 10.1557/s43578-023-01147-x.

11. Чумаков П.В., Мартынов А.В., Коломейченко А.В. и др. Оценка технического состояния круглых шестеренных гидронасосов навесных гидросистем

тракторов // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. N3. С. 426-447. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202003.426-447.

12. Kuznetsov Yu.A., Dobychin A.V., Yakovlev D.D., et al. Study of the structure and properties of coatings obtained by the high velocity oxygen fuel process. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2025. Vol. 54. N5. 521-529. DOI: 10.1134/S1052618825700608.

13. Liu Li., Shao L., Li W., et al. Effect of different HVOF coatings on the tribological behavior of PVD/HVOF duplex coatings. *Tribology International*. 2024. Vol. 198. 109873. DOI: 10.1016/j.triboint.2024.109873.

14. Behera N., Medabalimi S.R., Ramesh M.R. Elevated temperatures erosion wear behavior of HVOF sprayed WC-Co-Cr/Mo coatings on Ti6Al4V substrate. *Surface and Coatings Technology*. 2023. Vol. 470. 129809. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.129809.

15. Дружнова Я.С. Развитие методов газотермического напыления упрочняющих покрытий на основе карбидов вольфрама и хрома (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. N10(116). С. 100-115. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-10-100-115.

References

1. Varenov K.A., Konshin V.M. Analysis and motivation for the creation of enterprises for the restoration of DSM hydroelectric units. *Innovations. Science. Education*. 2022. N67. 144-149 (In Russian). EDN: QYFKLV.

2. Logachev V.N. Research of tribotechnical characteristics of restored and hardened gear pumps of type NSH-U. *Agrotechnics and Energy Supply*. 2021. N3(32). 49-57 (In Russian). EDN: YGENQM.

3. Tolmacheva I.I. Malfunctions of NSH-50U pumps. *Current Research*. 2022. N15(94). 9-11 (In Russian). EDN: EDRJKQ.

4. Morozov A.V., Ereemeev A.N., Musharapov D.R., et al. Application of electromechanical hardening for hardening of the working surfaces of the spline bushings of the gear pump drive NSH-50. *Bulletin of Tula State University. Engineering sciences*. 2021. N6. 250-256 (In Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-6-250-256.

5. Kolomeichenko A.V., Logachev V.N., Izmalkov A.A. Analysis of Causes of productivity loss and parts wear of hydraulic gear rotary pump NSH-32A. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and perspectives*. 2020. N2(26). 62-70 (In Russian). EDN: EXEGZH.

6. Zuevsky V.A., Klimuk D.O., Shemberev I.A. Causes of gear pump fails and methods for their elimination. *Machinery Technical Service*. 2020. Vol. 58. N3(140). 98-107 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-3-98-107.

7. Ivanshchikov Yu.V., Dobrokhotoy Yu.N., Andreev R.V.,

et al. Determination of the pre-repair resource of hydraulic system pumps. *Bulletin of the Chuvash State Agrarian University*. 2023. N25. 185-192 (In Russian). DOI: 10.48612/vch/k85b-xb9r-dt5h.

8. Logachev V.N., Titov N.V., Kolomeychenko A.V. Restoration of parts of gear pumps of the NSH-K type by a combined method. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2023. N11. 3-6 (In Russian). DOI: 10.31044/1684-2561-2023-0-11-3-6.

9. Rannetbauer W., Hubmer S., Hambrock C., et al. Predictive modelling of critical variables for improving HVOF coating using gamma regression models. *Journal of Mathematics in Industry*. 2024. Vol. 14. N7. DOI:10.1186/s13362-024-00146-9.

10. Chang L., Wang W., Ma D., et al. Deposition effects and interface structure of HVOF-sprayed multimodal WC-CoCr coatings. *Journal of Materials Research*. 2023. Vol. 38. N19. 4345-4356. DOI: 10.1557/s43578-023-01147-x.

11. Chumakov P.V., Martynov A.V., Kolomeychenko A.V., et al. Evaluation of technical condition of round gear hydraulic pumps of tractor mounted hydraulic systems. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. Vol. 30. N3. 426-447 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202003.426-447.

12. Kuznetsov Yu.A., Dobychin A.V., Yakovlev D.D., et al. Study of the structure and properties of coatings obtained by the high velocity oxygen fuel process. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2025. Vol. 54. N5. 521-529. DOI: 10.1134/S1052618825700608.

13. Liu Li., Shao L., Li W., et al. Effect of different HVOF coatings on the tribological behavior of PVD/HVOF duplex coatings. *Tribology International*. 2024. Vol. 198. 109873. DOI: 10.1016/j.triboint.2024.109873.

14. Behera N., Medabalimi S.R., Ramesh M.R. Elevated temperatures erosion wear behavior of HVOF sprayed WC-Co-Cr/Mo coatings on Ti6Al4V substrate. *Surface and Coatings Technology*. 2023. Vol. 470. 129809. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2023.129809.

15. Druzhnova Ya.S. Development of methods for thermal spraying of hardening tires based on tungsten and chromium carbides (review). *Proceedings of VIAM*. 2022. N10(116). 100-115 (In Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-10-100-115.

Заявленный вклад соавторов

Кузнецов Ю.А. – научное руководство, формулирование основной концепции исследования;

Яковлев Д.Д. – разработка программы исследований, анализ полученных результатов;

Добычин А.В. – проведение стендовых испытаний насосов;

Грибакин А.А. – сбор первичной информации, формирование списка литературных источников;

Кравченко И.Н. – осуществление критического анализа, доработка текста;

Пичев В.С. – обоснование технологических режимов формирования покрытий.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kuznetsov Yu.A. – scientific supervision, formulation of the main concept of the study;

Yakovlev D.D. – development of a research program, analysis of the results obtained;

Dobychin A.V. – conducting bench tests of pumps;

Gribakin A.A. – collection of primary information, formation of a list of literary sources;

Kravchenko I.N. – implementation of critical analysis, revision of the text;

Pichev V.S. – substantiation of technological modes of coating formation.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026

Статья принята к публикации 21.07.2026

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВСТРОЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН



Александр Сергеевич Саяпин, младший научный сотрудник;
Михаил Николаевич Костомахин, кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник;
Ефим Вадимович Пестряков, младший научный сотрудник,
e-mail: comaconcrsas@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FGUN-2025-0005 «Разработать научные основы управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники с использованием цифровых технологий и инновационных методов восстановления ее работоспособности».

Реферат. Состояние парка сельскохозяйственной техники в России характеризуется значительным износом: более 57 процентов тракторов имеют срок эксплуатации свыше 10 лет, ежегодный прирост парка составляет лишь 6,4 процента от количества требующей списания техники, расходы на ремонт выросли более чем на 30 процентов за последние три года у 80 процентов хозяйств, что усугубляет финансовую нагрузку на сельхозтоваропроизводителей и создает угрозу технологическому суверенитету агропромышленного комплекса. (Цель исследования) Провести комплексный анализ перспектив развития встроенных интеллектуальных диагностических систем сельскохозяйственных машин с учетом современного состояния парка техники и выявление путей их эффективного внедрения в отечественное сельское хозяйство. (Материалы и методы) Выполнили системный анализ состояния парка сельскохозяйственной техники, используя монографический метод, статистический анализ данных опроса агропредприятий из более чем 60 субъектов РФ, анализ существующих решений в области цифровой диагностики сельхозтехники и перспектив применения больших языковых моделей. (Результаты и обсуждение) Установили, что переход от реактивной к предиктивной диагностике позволяет снизить внеплановые простои на 35-45 процентов и уменьшить затраты на ремонт на 25-30 процентов. Показали, что применение искусственных нейронных сетей для анализа параметров технического состояния обеспечивает прогнозирование отказов с высокой точностью. Предложили концепцию удаленной диагностики на основе больших языковых моделей и облачных ИИ-сервисов по модели «диагностика как услуга», которая позволяет малым хозяйствам получать доступ к экспертным знаниям без значительных капитальных вложений. (Выводы) Внедрение встроенных интеллектуальных диагностических систем является необходимым условием технического перевооружения АПК России, но требуются меры государственной поддержки, включая субсидирование приобретения диагностического оборудования. Для проведения мониторинга технического состояния и интеллектуального диагностирования предлагается использование спутниковой связи.

Ключевые слова: интеллектуальная диагностика, мониторинг технического состояния, искусственный интеллект, предиктивное обслуживание, большие языковые модели.

Для цитирования: Саяпин А.С., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. Перспективы развития встроенных интеллектуальных диагностических систем сельскохозяйственных машин // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 67-75. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-67-75. EDN: OMUUKM.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BUILT-IN INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR AGRICULTURAL MACHINERY

*Aleksandr S. Sayapin, junior researcher;
Mikhail N. Kostomakhin, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Efim V. Pestryakov, junior researcher*

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation*

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia FGUN-2025-0005 "Develop scientific foundations for managing the technical condition of agricultural machinery using digital technologies and innovative methods for restoring its performance".

Abstract. *The state of the agricultural machinery park in Russia is characterized by significant wear: more than 57 percent of tractors have a service life of more than 10 years, the annual growth of the park is only 6.4 percent of the number of equipment requiring disposal, repair costs have increased by more than 30 percent over the past three years for 80 percent of farms, which exacerbates the financial burden on agricultural producers and poses a threat to the technological sovereignty of the agro-industrial complex. (Research purpose) The research purpose is conducting a comprehensive analysis of the prospects for the development of built-in intelligent diagnostic systems of agricultural machines, taking into account the current state of the fleet of equipment and identifying ways of their effective implementation in domestic agriculture. (Materials and methods) We performed a systematic analysis of the state of the agricultural machinery park using the monographic method, statistical analysis of survey data of agricultural enterprises from more than 60 subjects of the Russian Federation, analysis of existing solutions in the field of digital diagnostics of agricultural machinery and prospects for the use of large language models. (Results and discussion) It was found that the transition from reactive to predictive diagnostics reduces unscheduled downtime by 35-45 percent and reduces repair costs by 25-30 percent. It was shown that the use of artificial neural networks to analyze the parameters of the technical state provides prediction of failures with high accuracy. We proposed the concept of remote diagnostics based on large language models and cloud-based AI services based on the "diagnostics as a service" model, which allows small farms to access expert knowledge without significant capital investments. (Conclusions) The introduction of built-in intelligent diagnostic systems is a necessary condition for the technical re-equipment of the agro-industrial complex of Russia, but state support measures are required, including subsidies for the purchase of diagnostic equipment. Satellite communication is proposed for monitoring the technical condition and intelligent diagnostics.*

Keywords: *Intelligent diagnostics, technical condition monitoring, artificial intelligence, predictive maintenance, large language models.*

For citation: *Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Prospects for the development of built-in intelligent diagnostic systems for agricultural machinery. Machinery Technical Service. 2026. Vol. 64. N3. 67-75 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-67-75. EDN: OMUUKM.*

Сельскохозяйственное производство России находится на критическом этапе технического развития. По данным анализа состояния парка сельскохозяйственных машин, на предприятиях агропромышленного комплекса России, проведенного по поручению комиссии Государственного Совета РФ в 2025 г., парк техники ха-

рактеризуется глубоким износом: доля тракторов со сроком эксплуатации свыше 10 лет составляет 57% (245 тыс. ед.), а ежегодное обновление парка не превышает 6,4% от количества требующей списания техники [1].

Энергообеспеченность сельского хозяйства России остается на низком уровне – 0,7-1,4 кВт/га, тогда

как в передовых зарубежных странах этот показатель достигает 3,5–6,5 кВт/га [2].

Такое отставание напрямую влияет на урожайность зерновых культур и конкурентоспособность отечественного АПК [2]. Для достижения целевого уровня энергообеспеченности 4 кВт/га требуется увеличение парка тракторов с текущих 250–300 тыс. единиц до 2,5 млн штук, что подчеркивает масштаб задачи технического перевооружения отрасли [3].

Одним из ключевых факторов, сдерживающих обновление парка, являются финансовые ограничения. Согласно опросу 1414 руководителей агропредприятий из более чем 60 субъектов РФ, основными барьерами для инвестиций выступают:

- недостаток собственных финансовых средств (71% респондентов);
- высокая стоимость техники (49%);
- нехватка квалифицированных кадров (39,5%) [1].

В этих условиях особую актуальность приобретает задача максимального продления срока службы существующей техники и повышения ее коэффициента технической готовности [4].

Традиционные подходы к техническому обслуживанию, основанные на регламентных работах и реактивном устранении неисправностей, не позволяют эффективно решить эту задачу. Более 80% хозяйств зафиксировали рост затрат на ремонт более чем на 30% за последние три года, что свидетельствует о неэффективности существующих методов поддержания работоспособности техники [3].

Современным решением данной проблемы является внедрение встроенных интеллектуальных диагностических систем, позволяющих осуществлять непрерывный мониторинг параметров технического состояния и прогнозировать отказы до их возникновения. Анализ отказов тракторов в условиях реальной эксплуатации показывает, что более трети всех отказов приходится на двигатель, а гидросистема с трансмиссией составляют около 40% [2].

Контроль именно этих узлов в первую очередь позволяет предотвратить большинство критических отказов [5].

Первые попытки автоматизации диагностики сельхозтехники в России относятся к 1980–1990-м гг., когда разрабатывались экспертные системы на базе логических правил, например, в рамках Государственной комплексной системы технического обслуживания и ремонта – КСТОР [6].

КСТОР разрабатывалась как подход, который позволил бы системно управлять техническим состоянием машин (тракторов, комбайнов, сеялок и другой сельхозтехники). Его суть состояла в том, чтобы

на научной основе определять виды и периодичность ТО; методы применяемого ремонта; критерии достижения предельного состояния машины или узла; возможность восстановления ресурса отдельных частей; общий целесообразный срок службы.

Однако из-за ограниченных вычислительных ресурсов и отсутствия цифровых датчиков такие системы не получили массового распространения. С развитием телематики в 2000-х гг. появились первые системы мониторинга на базе *GPS* и *CAN*-шины. Настоящий прорыв произошел после 2015 г., когда стало возможным применение машинного обучения и нейронных сетей для анализа больших объемов диагностических данных

Применение цифровых технологий и информационных систем в классическом процессе диагностики позволяет сократить трудоемкость практически всех операций с учетом автоматизации получения и обработки информации о техническом состоянии машин различных типов [7].

В настоящее время функционирует большое количество зарубежных систем автоматического сбора и анализа информации (*TELEMATICS*, *JDLink*, *FarmSight* и др.), однако их главный недостаток заключается в ограниченной совместимости – такие системы работают преимущественно с техникой собственного производства, что создает дополнительные сложности для российских агропредприятий с разномарочным парком.

Перспективным направлением является разработка универсальных интеллектуальных систем диагностирования, базирующихся на принципах работы искусственных нейронных сетей. Такие системы способны анализировать массивы данных о параметрах работы техники (крутящий момент двигателя, частота вращения, часовой расход топлива, давление в гидросистеме, вибрационные характеристики) и с высокой точностью прогнозировать возможные отказы [8].

Цель исследования – провести комплексный анализ перспектив развития встроенных интеллектуальных диагностических систем сельскохозяйственных машин с учетом современного состояния парка техники и выявление путей их эффективного внедрения в отечественное сельское хозяйство.

Материалы и методы. В работе использованы методы системного анализа, монографический метод, статистический анализ данных опроса агропредприятий, а также анализ существующих решений в области цифровой диагностики сельхозтехники.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- проанализировать современное состояние парка сельскохозяйственной техники в России и выя-

вить ключевые проблемы, связанные с его износом;

- рассмотреть существующие подходы к диагностике технического состояния сельхозмашин и их недостатки;

- оценить потенциал применения интеллектуальных диагностических систем на основе искусственных нейронных сетей;

- разработать рекомендации по ускорению внедрения интеллектуальных диагностических систем в отечественное сельское хозяйство.

Исследование выполнено в контексте трех волн цифровизации АПК: этапа телематики и *GPS*-мониторинга (2005-2010 гг.) – сбор данных; этапа точного земледелия и внедрения систем планирования ресурсов предприятия для аналитики (2010-2018 гг.) – обработка и визуализация; этапа автономных систем, ИИ, *IoT* и облачных платформ (с 2018 г. – н. в.) – автоматизированное принятие решений [9].

Настоящая работа относится к третьему этапу, где ИИ не только интерпретирует данные, но и генерирует рекомендации на языке, понятном оператору.

Стоит отметить, что в общем и целом диагностирование представляет собой систематизированный процесс анализа эмпирических данных, достоверность которых обеспечивается непрерывным мониторингом технического состояния объектов исследования в условиях реальной эксплуатации. Мониторинг, базирующийся на применении цифровых датчиков и телематических систем, позволяет осуществлять объективный сбор параметрической информации с заданной периодичностью, минимизируя субъективный фактор и обеспечивая репрезентативность получаемых данных для последующего статистического и корреляционного анализа с целью достоверного диагностирования неисправностей машин.

Результаты и обсуждение. Анализ литературных источников показал, что в условиях устаревания и глубокого износа парка сельхозтехники (57% тракторов имеют срок эксплуатации свыше 10 лет) и ограниченной доступности квалифицированных сервисных специалистов в отдаленных регионах возникает потребность в новых архитектурах цифровых диагностических систем на основе искусственного интеллекта (ИИ). Проведенный анализ открытых источников также показал, что перспективным направлением становится применение больших языковых моделей (*large language model* – *LLM*) и мультимодальных ИИ-систем для удаленной диагностики техники по модели «диагностика как услуга». Мультимодальные ИИ-системы – это системы, которые способны одновременно работать с различными типами данных («модальностями»). К основным модально-

стям относятся: текст (сообщения, статьи, документы), изображения (фотографии, рисунки, графика), аудио (речь, звуки), видео (комбинация изображений и звука), датчики и другие источники данных [9].

Ключевые тенденции развития ИИ-диагностирования сельскохозяйственных машин: от жестких правил – к самообучаемым моделям, от изолированных систем – к открытой, универсальной диагностике разномарочной техники, от локального анализа – к облачным ИИ-сервисам на основе мощных *LLM* с доступом через спутниковую связь. Такой эволюционный путь демонстрирует, что современные *LLM*-системы – не «технологическое чудо», а логическое продолжение отечественного инженерного опыта, адаптированное к вызовам цифровой эпохи. Ретроспективный анализ развития интеллектуальных диагностических систем в сельском хозяйстве по годам представлен в *таблице 1*.

Прямых статистических данных о количестве сельскохозяйственных машин, оснащенных ИИ-системами диагностирования по годам, в открытых источниках не публикуется, однако на основе косвенных показателей (уровень цифровизации АПК, внедрение телематики, доля импортной техники с предустановленными системами) можно составить оценочную *таблицу*, отражающую реалистичную динамику. Так, по данным Минсельхоза, цифровые технологии использовались лишь на 10% пашни в 2021 г. [4].

ИИ-диагностика была доступна только владельцам новой импортной техники (приблизительно 17% парка). Согласно опросу 1414 агропредприятий в 2022-2025 гг. рост доли хозяйств, использующих телематику, составил 25% (до 45% у крупных агрохолдингов к 2025 г.) [1].

Учитывая, что средний парк крупного холдинга более ста машин, это дает десятки тысяч единиц. При этом у малых и микропредприятий (95% всех хозяйств) доля техники с ИИ-диагностикой не превышает 5-7% даже в 2025 г. из-за финансовых барьеров [1].

На основании этого оценочно в 2025 г. в России эксплуатируется около 50 тыс. сельхозмашин с тем или иным уровнем ИИ-диагностики (от простой телематики до предиктивных нейросетей), что составляет приблизительно 20% парка. Массовое внедрение *LLM*-систем ожидается не ранее 2027-2028 гг. после создания отечественной инфраструктуры высокоскоростного спутникового интернета («Сфера») и снижения стоимости его терминалов. Динамика диагностирования отечественных сельскохозяйственных машин с помощью ИИ по годам, благодаря которому виден экспоненциальный рост после 2022 г., особенно в 2024-2025 гг., что связано с переходом от

Таблица 1

Table 1

Этапы развития ИИ-систем диагностирования сельскохозяйственной техники
Stages of development of AI-Based diagnostic systems for agricultural machinery

Годы	Этап развития	Основные технологии и подходы	Ключевые особенности
1980-1990	Формирование основ: экспертные системы и КСТОР	Логические правила, маршрутные карты ТО, нормативно-техническая документация	Создана Комплексная система технического обслуживания и ремонта (КСТОР) — системный подход к управлению ресурсом техники; отсутствие цифровых датчиков и вычислительных мощностей ограничивало автоматизацию
2000-2010	Начало цифровизации: телематика и GPS-мониторинг	CAN-шина, GPS/ГЛОНАСС, базовые датчики (обороты, температура, давление масла)	Появление первых систем мониторинга машинно-тракторного парка; сбор данных без глубокого анализа; фокус на логистике и контроле маршрутов
2010-2018	Интеграция точного земледелия и ERP	Бортовая электроника, ISOBUS, системы учета ГСМ и семян	Диагностика становится частью общей цифровой экосистемы хозяйства; появляются первые алгоритмы оценки технического состояния на основе пороговых значений
2018-2024	Внедрение ИИ и предиктивной аналитики	Искусственные нейронные НС, свёрточные НС, анализ временных рядов (вибрация, пульсации давления)	Переход от реактивной к предиктивной диагностике; точность прогнозирования отказов достигает 95-98,5%; системы работают в основном в рамках одного бренда (JDLink, TELEMATICS и т. п.)
2024-н.в.	Эра больших языковых моделей (LLM) и «диагностики как услуги»	Гибридные архитектуры (локальные НС и ИИ + облачный LLM), спутниковая связь (Starlink, «Сфера»), мультимодальные ИИ	LLM интерпретируют данные на естественном языке, генерируют рекомендации и прогноз остаточного ресурса; модель Diagnostics-as-a-Service (DaaS) делает ИИ-диагностику доступной для малых хозяйств; рост роли информационно-консультационной поддержки

реактивной к предиктивной диагностике и появлением облачных ИИ-сервисов и услуг, представлена на рисунке 1.

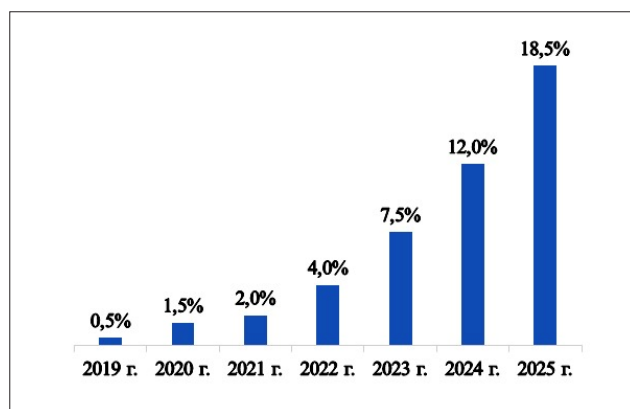


Рис. 1. Процентное отношение сельскохозяйственных машин, диагностируемых с помощью ИИ

Fig. 1. Percentage of agricultural machinery diagnosed using AI

LLM представляют собой качественно новый этап развития диагностики — от жестко регламентированного контроля к гибкой, контекстно-зависимой интерпретации технического состояния с выдачей рекомендаций, понятных оператору без специальной подготовки.

Сравнение современных подходов в компьютерной автоматизации процесса диагностирования сельскохозяйственной техники представлено в таблице 2.

Предлагаемая архитектура на базе LLM и нейросетей представляет собой эволюционное развитие принципов КСТОР: если ранее регламенты ТО задавались бумажными маршрутными картами, то сегодня они формируются динамически на основе реального состояния техники. При этом сохраняется ключевой принцип — системный подход к управлению жизненным циклом техники

Такие диагностические системы могут состоять из:

- универсальных адаптеров CAN-шины с поддержкой протоколов J1939, ISO 11783;
- модуля спутниковой связи, например, аналогов Starlink Mini для обмена данными с удаленными серверами;
- дополнительные датчики температуры, давления, ускорения, вибрации, акустических сенсоров для анализа шумового профиля двигателя, коробки передач, ответственных высоконагруженных узлов и агрегатов;
- бортового компьютера, с помощью датчиков и CAN-шины накапливающего данные о работе машины, и передающего их в сети Internet с помощью систем спутниковой связи.

Схема подобной встроенной интеллектуальной диагностической системы, отображающая принцип ее работы и взаимодействие ее основных компонентов, представлена на рисунке 2.

Таблица 2

Table 2

Сравнительный анализ подходов к интеллектуальной диагностике сельскохозяйственной техники
Comparative analysis of approaches to intelligent diagnostics of agricultural machinery

Критерий	Экспертные системы (строгие алгоритмы и правила)	Классические ИИ-модели (деревья решений, свёрточные НС)	Большие языковые модели (LLM)
Основа функционирования	Жестко заданные логические правила, созданные экспертами	Обучение на размеченных данных; выявление статистических закономерностей	Дообучение на корпусе технической документации и операционных данных
Адаптивность к новым условиям	Низкая: требует ручного обновления базы знаний при изменении парка или режимов эксплуатации	Средняя: возможно дообучение, но только в рамках заранее определенных признаков	Высокая: способна интерпретировать новые комбинации параметров и генерировать гипотезы
Объяснимость решения	Высокая: вывод строится по цепочке «если – то»	Низкая–средняя: «черный ящик» (особенно у глубоких нейросетей)	Высокая: генерирует текстовое объяснение на естественном языке (например, «вероятность износа вкладышей коленвала 84%»)
Формат выходного результата	Код ошибки, категория неисправности	Вероятностная оценка класса отказа (например, 0.92 – подшипник)	Структурированное текстовое сообщение с рекомендациями, прогнозом остаточного ресурса и списком необходимых запчастей
Работа с мультимодальными данными	Только дискретные логические входы	Ограниченная: требует предварительной обработки и унификации признаков	Высокая: способна одновременно анализировать временные ряды (вибрация, давление), историю ТО, данные из руководств по эксплуатации и нормативной документации
Требования к разработке	Высокая трудоемкость формализации знаний экспертов	Необходимость большого объема размеченных данных для обучения	Возможность обучения на основе существующих технических текстов

При этом локальный нейросетевой ИИ установлен на бортовой компьютер системы сбора данных от датчиков и обрабатывает быстрые переходные процессы, ведет контроль рабочих, диагностических параметров машины и правил эксплуатации, а облачный ИИ в виде LLM проводит глубокий анализ и интерпретацию массива всех накопленных во время эксплуатации машины данных, оценку текущего технического состояния, рассчитывает остаточный ресурс и вырабатывает рекомендации по эксплуатации и техническому сервису.

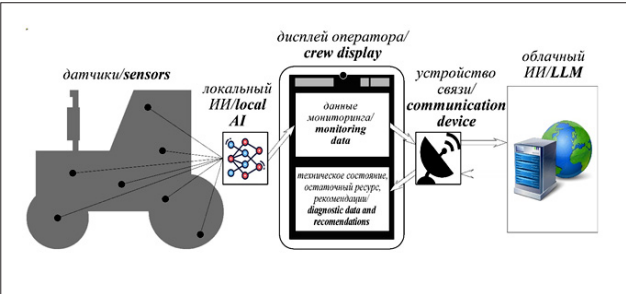


Рис. 2. Принципиальная схема работы встроенной интеллектуальной диагностической системы трактора, использующей LLM для интерпретации мониторинговых данных
Fig. 2. Schematic diagram of the operation of the integrated intelligent diagnostic system of the tractor, using LLM to interpret monitoring data

Данные о работе машины, ее узлов и агрегатов, накопленные бортовым компьютером во время эксплуатации машины, передаются на облачную платформу с определенной периодичностью по времени и содержат как базовые параметры (обороты двигателя, давление в гидросистеме, температура охлаждающей жидкости), так и диагностические параметры от дополнительных встроенных датчиков, а также, например, «триггеры» возможных неисправностей (скачок вибрации >15% за 10 с, резкое падение давления масла).

На серверной стороне при этом целесообразно применить двухуровневую архитектуру ИИ-обработки поступающих данных:

- первичную диагностику, при которой свёрточные нейросети выполняют анализ временных рядов вибрационных сигналов и выявляют аномалий в работе подшипников, шестерен, переходных быстропротекающих процессов пульсаций давления, ускорений машины;
- вторичную интерпретацию всего массива обработанных данных с помощью дообученной на технической документации производителя LLM, генерирующей сообщение для водителя об общем техническом состоянии узлов и агрегатов (техническое

состояние ГСТ 89% от номинального»), вероятностную оценку причины отказа («вероятность отказа вкладышей коленвала 84%»), рекомендации по действиям («продолжить работу с ограничением нагрузки до 60% в течение 8 моточасов, заменить масло и фильтр»); прогноз остаточного ресурса узла до критического отказа («остаточный ресурс воздушного фильтра ДВС 35%, 121 час»).

Внедрение такой встроенной диагностической системы позволило бы:

- повысить надежность передачи и хранения мониторинговых данных в цифровом виде на удаленных серверах;
- повысить точность диагностики за счет комбинации сверточных нейронных сетей для обработки быстрых процессов и *LLM* для углубленного анализа и интерпретации результатов, выработки рекомендаций;
- получить значительный экономический эффект за счет автоматизации одновременного диагностирования большого числа машин без необходимости участия специалиста в каждом отдельном случае, а также за счет своевременного предиктивного технического обслуживания [10].

При этом существуют технические, юридические и экономические ограничения для внедрения, такие как:

- сложные климатические условия нашей страны, требующие от оборудования соответствующее техническое исполнение и повышенную надежность;
- зависимость от зарубежной инфраструктуры спутниковой передачи данных, например – *Starlink*, создающей риски для критически важных хозяйств, для купирования которых необходима разработка отечественных аналогов (проект «Сфера» [11]);
- юридические барьеры, заключающиеся в отсутствии в РФ нормативной базы для передачи данных техники через иностранные спутниковые сети, для которых требуется лицензирование использования радиочастот;
- финансовый барьер в виде значительных инвестиций при внедрении и высокая стоимость обслуживания оборудования, в основном за счет оплаты трафика передачи данных, особенно для отечественных сельхозпредприятий, испытывающих дефицит собственных средств и трудности с закупкой новой техники [12].

Интеграция спутниковой связи и облачных ИИ-сервисов открывает принципиально новые возможности для диагностики техники в удаленных регионах, где традиционные телематические системы не работоспособны.

Однако для массового внедрения требуется:

- разработка гибридных архитектур взаимодей-

ствия локального ИИ на технике и облачной *LLM*);

- государственная поддержка в виде субсидирования стоимости терминалов связи;
- создание отечественных предобученных *LLM* на технической документации сельхозмашин с поддержкой русского языка и региональных диалектов.

Такой подход соответствует стратегии цифровизации АПК и может стать, например, ключевым инструментом преодоления «цифрового неравенства» между развитыми аграрными регионами (Центральный, Южный ФО) и отдаленными территориями, где сегодня наблюдается максимальный износ техники и минимальная доступность сервиса (Трухачев В.И., Дидманидзе О.Н., Девянин С.Н. Перспективы тракторостроения в России // Чтения академика В.Н. Болтинского: сборник статей. М.: Российский государственный аграрный университет, ООО «Сам Полиграфист». 2024. С. 43-53.).

Внедрение встроенных интеллектуальных диагностических систем является необходимым условием технического перевооружения АПК России, а внедрение *LLM*-диагностики напрямую отвечает тренду на рост роли консультационной поддержки (к 2032 г. ожидается, что вес фактора «информационно-консультационная поддержка» вырастет с нынешних 13 до 26%) [12].

Особенно это актуально для удаленных регионов (Сибирь, Дальний Восток), где дефицит квалифицированных кадров компенсируется доступом к «цифровому эксперту» через спутниковую связь. Для ускорения их внедрения требуется комплекс мер государственной поддержки, включая субсидирование приобретения диагностического оборудования, развитие сервисной инфраструктуры и подготовку кадров [13, 14].

Также необходима разработка конкретных рекомендаций для производителей сельхозтехники, агропредприятий и органов государственной власти по ускорению внедрения интеллектуальных диагностических систем, что позволит повысить техническую готовность парка и снизить эксплуатационные издержки [15, 16].

Выводы. Проведенный комплексный анализ перспектив развития встроенных интеллектуальных диагностических систем сельскохозяйственных машин анализ показал, что применение больших языковых моделей и облачных ИИ-сервисов для удаленного мониторинга, диагностики и оценки технического состояния сельскохозяйственной техники позволяет повысить техническую готовность за счет снижения времени реагирования и принятия решений при техническом обслуживании. При этом модель «диагностика как услуга» по подписке позволяет малым

хозяйствам получать доступ к экспертным знаниям без значительных капитальных вложений за счет автоматизации процесса диагностирования и обширного опыта интерпретации диагностических данных, накопленных LLM.

В условиях логистической удаленности и отсутствия широкополосного беспроводного интернета интеграция спутниковой связи и облачных ИИ-сервисов обеспечивает надежную передачу данных и высокую точность диагностики. Экономический эффект проявляется в сокращении трудоемкости диагностических операций, высокой достоверности интерпретации диагностических данных, своевременной выработке рекомендаций по эксплуатации, позволяющей продлить срок службы и избежать сложные отказы, снизить простои техники. Для массового внедрения диагностирования с помощью LLM требуется развитие гибридных архитектур, обеспечивающих взаимодействие локального и облачного ИИ, государственная поддержка в виде субсидирования стоимости оборудования, а также предобучение на основе технической документации производителей сельхозмашин для контроля соблюдения правил эксплуатации и отклонений в техническом состоянии.

Библиографический список

1. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Петухов С.Н. и др. Тракторный парк аграрного сектора Российской Федерации // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025. Т. 26. N5. С. 1176-1187. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1176-1187.
2. Денисов В.А., Катаев Ю.В., Герасимов В.С. и др. Проблемы и пути развития инженерно-технической системы АПК (Ч. I) // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2025. N3. С. 3-28. DOI: 10.33920/sel-10-2503-01.
3. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
4. Петухов И.В., Стешина Л.А., Стешин И.С. Интеллектуализация технологических систем агропромышленного комплекса: Индустрия 4.0. // *Агроинженерия*. 2026. Т. 28. N1. С. 26-35. DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-26-35.
5. Катаев Ю.В., Саяпин А.С., Пестряков Е.В. и др. Устройство для мониторинга системы подачи воздуха и диагностических параметров работы ДВС сельскохозяйственной техники // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27. N6. С. 82-91. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-6-82-91.
6. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В. и др. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // *Техника и оборудование для села*. 2021. N9(291). С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.
7. Алушкин Т.Е., Мещеряков М.Ю., Старцев А.В. Использование нейронных сетей в технической эксплуатации самоходных машин // *Агроинженерия*. 2026. Т. 28. N1. С. 36-43. DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-36-43.
8. Власов Д.В. Современные тенденции развития сельского хозяйства. Применение IT технологий / *Российский электронный научный журнал*. 2019. N2(32). С. 60-65. DOI: 10.31563/2308-9644-2019-32-2-60-65.
9. Жиздюк А.А., Буйлов В.Н., Чумакова С.В. и др. Применение цифровых двойников технологических машин в АПК при эксплуатации и сервисном обслуживании // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27. N1. С. 20-25. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25.
10. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // *Агроинженерия*. 2021. N2(102). С. 45-50. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50.
11. Ромашкина Н.П. Спутниковые системы управления с применением искусственного интеллекта // *Вопросы кибербезопасности*. 2023. N6(58). С. 128-137. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-128-137.
12. Помогаев В.М., Редреев Г.В. Информационное обеспечение в системе технического обслуживания и ремонта мобильных машин в сельском хозяйстве // *Вестник Омского ГАУ*. 2022. N2(46). С. 145-152. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_145.
13. Дорохов А.С., Денисов В.А., Соломашкин А.А. и др. Стратегии технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин // *Технический сервис машин*. 2020. N3(140). С. 38-48. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-3-38-48.
14. Чернова О.А., Долгова О.И. Цифровая трансформация сельхозмашиностроения и ее влияние на развитие сельского хозяйства в России // *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*. 2025. Т. 20. N4. С. 549-569. DOI: 10.17072/1994-9960-2025-4-549-569.
15. Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Баишева Р.А. и др. Искусственный интеллект в управлении животноводческой фермой // *Агроинженерия*. 2026. Т. 28. N1. С. 16-25. DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-16-25.
16. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К. и др. Универсальная автоматизированная система управления машинно-тракторными агрегатами // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. N3. С. 10-14. DOI: 10.30850/vrsn/2018/3/10-14.

References

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Petukhov S.N., et al. *Tractor fleet of the agricultural sector of the Russian Federation / Agricultural Science Euro-North-East*. 2025. Vol. 26. N5. 1176-1187 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1176-1187.
2. Denisov V.A., Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., et al. *Problems and ways of development of the engineering and technical system of the agro-industrial complex (Part 1). Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2025. N3. 3-28 (In Russian). DOI: 10.33920/sel-10-2503-01.
3. Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., et al. *Scientific and technical achievements of agricultural engineering organizations in the context of digital transformation of agriculture. Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian) DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
4. Petukhov I.V., Steshina L.A., Steshin I.S. *Intellectualization of technological systems in agriculture: Industry 4.0. Agricultural Engineering*. 2026. Vol. 28. N1. 26-35 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-26-35.
5. Kataev Yu.V., Sayapin A.S., Pestryakov E.V., et al. *Device for monitoring the air intake system and diagnostic parameters of agricultural machinery engines. Agricultural Engineering*. 2025. Vol. 27. N6. 82-91 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2025-6-82-91.
6. Chernoi Ivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., et al. *A new strategy for the maintenance and repair of machines. Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N9(291). 33-36 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-9-33-36.
7. Alushkin T.E., Meshcheryakov M.Yu., Startsev A.V. *Use of neural networks in the technical operation of self-propelled machinery. Agricultural Engineering*. 2026. Vol. 28. N1. 36-43 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-36-43.
8. Vlasov D.V. *Modern trends of agriculture development. Application of IT technologies. Russian Electronic Scientific Journal*. 2019. N2(32). 60-65 (In Russian). DOI: 10.31563/2308-9644-2019-32-2-60-65.
9. Zhizdyuk A.A., Builov V.N., Chumakova S.V., et al. *Application of digital twins of technological farm machines during their operation and maintenance. Agricultural Engineering*. 2025. Vol. 27. N1. 20-25 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2025-1-20-25.
10. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. *Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. Agricultural Engineering*. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50.
11. Romashkina N.P. *Satellite control systems using artificial intelligence. Voprosy Kiberbezopasnosti*. 2023. N6(58). 128-137 (In Russian). DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-128-137.
12. Pomogaev V.M., Redreev G.V. *Information support in the system of maintenance and repair of mobile machines in agriculture. Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2022. N2(46). 145-152 (In Russian). DOI: 10.48136/2222-0364_2022_2_145.
13. Dorokhov A.S., Denisov A., Solomashkin A.A., et al. *Strategies for maintenance and repair of agricultural machinery. Machinery Technical Service*. 2020. N3(140). 38-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-3-38-48.
14. Chernova O.A., Dolgova O.I. *Digital transformation of agricultural machinery and its impact on the development of agriculture in Russia. Perm University Herald. Economy*. 2025. Vol. 20. N4. 549-569 (In Russian). DOI: 10.17072/1994-9960-2025-4-549-569.
15. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Baisheva R.A., et al. *Use of artificial intelligence for managing a livestock farm. Agricultural Engineering*. 2026. Vol. 28. N1. 16-25 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2026-1-16-25.
16. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., et al. *Universal digital control system of a machine and tractor aggregates. Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2018. N3. 10-14 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2018/3/10-14.

Заявленный вклад соавторов

Саяпин А.С. – подготовка текста, сбор материалов, анализ литературных данных;
Костомахин М.Н. – редактирование текста, анализ литературных данных;
Пестряков Е.В. – доработка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthor

Sayapin A.S. – preparation of the text, collection of materials, analysis of literary data.
Kostomakhin M.N. – text editing, literature review.
Pestryakov E.V. – finalizing the text, text editing.
All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026

Статья принята к публикации 31.07.2026

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СЕМЯНАПРАВИТЕЛЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ СЕЯЛКИ



¹Галина Геннадьевна Пархоменко, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

^{1,2}Сергей Иванович Камбулов, доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник;

¹Игорь Владимирович Божко, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

¹Иван Владимирович Червяков, кандидат технических наук,
научный сотрудник;

^{1,2}Виктор Иванович Пахомов, доктор технических наук,
член-корреспондент РАН

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

²Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Селекционные сеялки относятся к специализированным техническим средствам, масштабы их использования меньше, чем у широкозахватных посевных машин, применяемых в производстве, поэтому их номенклатура весьма ограничена ввиду недостаточности научных исследований в части обеспечения надежности. Надежность селекционной сеялки характеризуется способностью выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. От надежности селекционной сеялки зависит точность и равномерность высева семян в процессе выведения новых сортов зерновых и зернобобовых культур. Элементно-агрегатные компоненты селекционных сеялок, служащие для направления семян, влияют на неравномерность высева. (Цель исследования) Повышение надежности селекционной сеялки путем модернизации элементно-агрегатных компонентов. (Материалы и методы) Провели исследования в Аграрном научном центре «Донской» в отделе механизации растениеводства. Выполнили патентно-информационный поиск известных семянаправителей и с помощью методов вариационного исчисления обосновали наиболее рациональную их конфигурацию по критерию минимальной длительности перемещения семян. (Результаты и обсуждение) Некорректно обоснованные режимы работы в пневматических сеялках могут привести к выносу семян на поверхность при повышении скорости потока. Установили, что рациональной конфигурацией семянаправителя селекционной сеялки является брахистохрона, на параметр которой оказывает влияние вид высеваемой селекционной сеялкой сельскохозяйственной культуры и физико-механические свойства семян. (Выводы) Подтвердили, что повышение надежности селекционной сеялки может быть достигнуто путем модернизации элементно-агрегатных компонентов селекционных сеялок обоснованием скоростного режима движения потока семян в семянаправителе. Наиболее рациональной является конфигурация по критерию минимальной длительности перемещения семян. Установили длину семянаправителя селекционной сеялки для высева зерновых и зернобобовых культур 1,0-1,25 метра.

Ключевые слова: селекционная сеялка, семянаправитель, зерновые и зернобобовые культуры, вариационное исчисление, надежность.

Для цитирования: Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Божко И.В., Червяков И.В. Пахомов В.И. Определение рациональной конфигурации семянаправителя селекционной сеялки // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 76-82. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-76-82. EDN: RABPET.

DETERMINING THE RATIONAL CONFIGURATION OF THE SEED GUIDE OF A BREEDING SEEDER

¹Galina G. Parkhomenko, Ph.D.(Eng.), lead researcher;

^{1,2}Sergey I. Kambulov, Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher;

¹Igor V. Bozhko, Ph.D.(Eng.), senior researcher;

¹Ivan V. Chervyakov, Ph.D.(Eng.), researcher;

^{1,2}Viktor I. Pakhomov, Dr.Sc.(Eng.), corresponding member
of the Russian Academy of Sciences

¹Agricultural Scientific Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. Breeding seeders belong to specialized technical means, the scale of their use is less than that of large-scale seeding machines used in production, so their range is very limited due to the lack of scientific research in terms of ensuring reliability. Reliability of the breeding planter is characterized by the ability to perform the required functions in specified modes and conditions of application. The reliability of the breeding seeder depends on the accuracy and uniformity of seeding in the process of breeding new varieties of grain and leguminous crops. Element-aggregate components of breeding seedlings, serving for the direction of seeds, affect the unevenness of sowing. (Research purpose) The research purpose is improving the reliability of the breeding seeder through the modernization of element-aggregate components. (Materials and methods) Conducted research in the Agrarian Research Center "Donskoy" in the department of mechanization of crop production. We performed a patent and information search for known seed guides and, using the methods of variational calculus, substantiated their most rational configuration according to the criterion of the minimum duration of seed movement. (Results and discussion) Incorrectly justified modes of operation in pneumatic seeders can lead to the removal of seeds to the surface when the flow rate increases. It was established that the rational configuration of the seed guide of the breeding planter is brachistochrone, the parameter of which is influenced by the type of agricultural crop sown by the breeding seeder and the physical and mechanical properties of the seeds. (Conclusions) It was confirmed that improving the reliability of the breeding seeder can be achieved by upgrading the element-aggregate components of the breeding seeders by substantiating the speed of the flow of seeds in the seed guide. The most rational is the configuration according to the criterion of the minimum duration of seed movement. The length of the seed guide of the breeding planter for sowing grain and leguminous crops was set at 1.0-1.25 meters.

Keywords: selection seeder, seed guide, grain and leguminous crops, calculus of variations, reliability.

For citation: Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Bozhko I.V., Chervyakov I.V. Pakhomov V.I. Determining the rational configuration of the seed guide of a breeding seeder. *Machinery Technical Service*. 2026. 64. N3. 76-82 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-76-82. EDN: RABPET.

Для обеспечения продовольственной независимости важным направлением научно-технологического развития страны является поддержание всех хозяйственно-ценных качеств и биологических свойств разработанных перспективных сортов отечественной селекции при производстве семян зерновых и зернобобовых культур. Для поддержания генотипических возможностей сорта осуществляется отбор массовый или индивидуальный, в процессе которого в числе прочих мероприятий также закладываются питомни-

ки размножения семей для дальнейшего выделения лучших и выбраковки худших потомств. Для высева семян в питомниках размножения используются механизированные селекционные сеялки.

Селекционные сеялки относятся к специализированным техническим средствам, масштабы их использования меньше, чем у широкозахватных посевных машин, применяемых в производстве, и в связи с этим их номенклатура весьма ограничена ввиду недостаточности научных исследований в части обеспечения надежности [1].

Зарубежные образцы селекционных сеялок стоят дорого и зачастую не всегда приспособлены к условиям отечественных селекционных питомников [2].

Поэтому часто используются устаревшие, требующие замены селекционные сеялки с низким уровнем надежности [3, 4].

Согласно ГОСТ 27.002-2015 надежность селекционной сеялки характеризуется способностью выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. От надежности селекционной сеялки зависит точность и равномерность высева семян в процессе выведения новых сортов зерновых и зернобобовых культур. Элементно-агрегатные компоненты селекционных сеялок, служащие для направления семян влияют на неравномерность высева [5].

Повышение надежности может быть достигнуто путем модернизации элементно-агрегатных компонентов селекционных сеялок [6].

В конструкциях пневматических селекционных сеялок для обеспечения равномерного потока семян используются распределители с делительными головками, направляющие семена в псевдоожиженном состоянии в семянаправителе [7, 8].

При использовании семянаправителя с необоснованной конфигурацией, следствием чего явилась завышенная длина горизонтального участка, происходило забивание и прилипание семян к стенкам, что способствовало утрате ценного селекционного семенного материала (Патент РФ № 122550).

Цель исследования – повышение надежности селекционной сеялки путем модернизации элементно-агрегатных компонентов.

Материалы и методы. Исследования проводили в Аграрном научном центре «Донской» в отделе механизации растениеводства.

Для достижения поставленной цели выполнен патентно-информационный поиск известных семянаправителей и с помощью методов вариационного исчисления обоснована наиболее рациональная их конфигурация по критерию минимальной длительности перемещения семян.

Результаты и обсуждение. Некорректно обоснованные режимы работы в пневматических сеялках могут привести к выносу семян на поверхность при повышении скорости потока (Патент РФ № 209017). При этом необходимо иметь достаточную скорость потока для равномерного распределения семян в рядке. На равномерность высева влияют также горизонтальная и вертикальная составляющие относительной скорости семени в момент его взаимодействия с дном борозды.

Суммарная относительная скорость потока долж-

на быть направлена противоположно вектору поступательной скорости селекционной сеялки, а ее величина – достаточной для снижения переносной скорости до предела затухания колебательного процесса движения семени в момент его взаимодействия с дном борозды, что способствует исключению раскатывания и получению равномерного высева. Повышение равномерности распределения семян вдоль рядка возможно путем перераспределения их при движении в семянаправителе, например, с помощью ступенчатого изменения потока (Патент РФ № 2813904), шарнирного соединения элементов, регулирующих поток, т. е. выбора естественного наиболее рационального пути их транспортирования. Для этих целей подходят эластичные и конусообразные секционные семяпроводы широкозахватных зерновых сеялок. Ввиду низкой надежности в части обеспечения постоянного изгиба, качественные показатели технологического процесса посева, в частности равномерность, в данном случае неуправляемые и могут не соответствовать требуемым.

На равномерность распределения влияет трение семян о стенки семянаправителя. Это наблюдается при значительных изгибах семянаправителя, когда семена движутся по ломаной прямой. Необходимо обеспечить плавную траекторию движения семян по семянаправителю за счет криволинейной формы. Криволинейные участки трубопровода семянаправителя представлены авторами [9].

Форма семянаправителя (Патент РФ № 223754) описывается логарифмической спиральной кривой, изогнутой по спирали трубки в устройстве (Патент РФ № 2840032), параболической кривой [10].

Задняя стенка семянаправителя устройства (Патент РФ № 214426) выполнена скатной криволинейной, за счет формы которой семена «не отскакивают от нее, а плавно скользят по ее поверхности к выходному патрубку и далее поступают в сошник» (Патент РФ № 235111). Криволинейные элементы эвольвентой или эллипсоидной формы семянаправителя при движении семян рассматриваются авторами в качестве аэродинамического трамплина [8].

У сеялок встречаются семянаправители, изогнутые по форме саблевидной кривой, что положительно влияет на равномерность высева [11].

Примеры криволинейных конфигураций семянаправителей представлены на *рисунке 1*.

Следует отметить отрицательные стороны семянаправителя с закругленной конфигурацией. Так, авторы отметили наличие вихревой зоны и турбулентности, приводящих к срыву потока обусловленное закруглением формы семянаправителя [8].

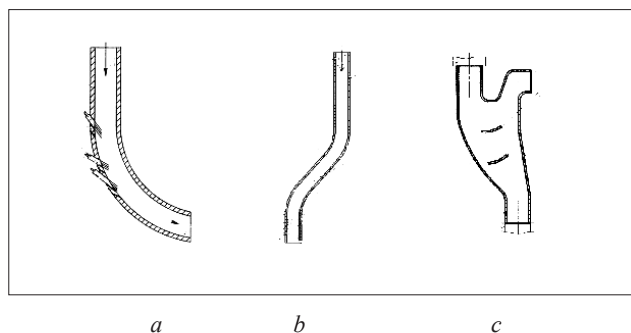


Рис. 1. Криволинейные конфигурации семянаправителей сеялок: а – патент РФ № 198412; б – патент РФ № 234839; с – патент РФ № 214426

Fig. 1. Curvilinear configurations of seed guides: а – Russian Federation Patent No. 198412; б – Russian Federation Patent No. 234839; с – Russian Federation Patent No. 214426

Движение семян по научно-обоснованной траектории способствует повышению надежности и эффективности селекционной сеялки [12, 13].

Для повышения эксплуатационной надежности в соответствии с перспективными направлениями развития селекционных сеялок необходимо отыскивать рациональный скоростной режим движения потока семян в семянаправителе [14, 15].

Длина семянаправителя не может быть бесконечно увеличена [16, 17].

Значит, необходимо регулировать длительность перемещения семени путем прохождения заданной траектории [18, 19].

Таким образом, задача заключается в выборе формы кривой, перемещение семени по которой осуществляется с минимальной длительностью, т. е. за самое короткое время. Семя как материальная точка с определенной массой перемещается из положения начальной координаты $A(x_1, y_1)$ вниз в вертикальной плоскости по криволинейной траектории до положения конечной координаты $B(x_2, y_2)$ с ординатами y_A, y_B соответственно.

При этом уровни расположения начальной и конечной координаты ограничены конструктивными размерами селекционной сеялки:

$$y(A) = y_A, y(B) = y_B. \quad (1)$$

Из множества кривых необходимо выбрать форму траектории наименьшей длительности движения семени по пути AB (рис. 2).

От конфигурации криволинейной траектории зависит длительность перемещения семени T под действием силы тяжести, которую можно разложить на нормальную и касательную составляющие (рис. 2).

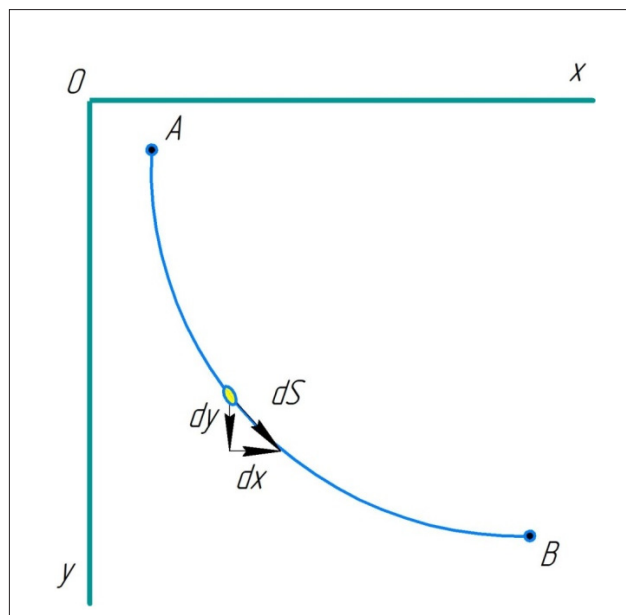


Рис. 2. Схема сил, действующих на семя при движении в семянаправителе

Fig. 2. Diagram of the forces acting on the seed during movement in the seed guide

При этом нормальная составляющая силы тяжести семени при движении его в семянаправителе селекционной сеялки уравнивается реакцией связи. От касательной составляющей силы тяжести при движении семени в семянаправителе селекционной сеялки со скоростью $V = dS/dt$ по криволинейной траектории протяженностью S возникает ускорение $dV/dt = g \cdot (dy/dS)$. После преобразования получим выражение: $V \cdot dV = g \cdot dy$.

Допущения:

- скорость семени в начальный момент времени равна нулю;
- семя движется под действием силы тяжести без учета сопротивления внешней среды;
- силы трения отсутствуют.

После преобразований получим:

$$\begin{aligned} x &= r(t - \sin t); \\ y &= r(1 - \cos t). \end{aligned} \quad (2)$$

Полученные выражения (2) представляют собой уравнения брахистохроны (кривой «наикратчайшего времени» по И. Бернулли) в параметрическом виде или циклоиды, которую описывает точка окружности радиуса r , перекатывающейся по горизонтальной прямой без скольжения (рис. 3).

Из вышеизложенного следует, что рациональной конфигурацией семянаправителя селекционной сеялки в форме кривой минимального по длительности перемещения семени при выбранных допущениях под действием силы тяжести является брахистохрона.

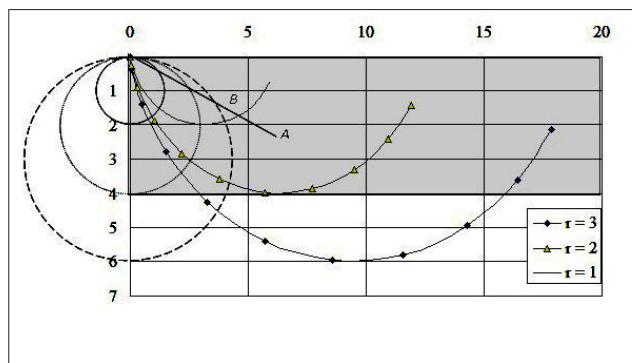


Рис. 3. Графические зависимости к выбору параметров семянаправителей селекционных сеялок

Fig. 3. Graphic dependencies for the selection of parameters for seed guides of breeding seeders

При этом радиус образующей окружности устанавливается таким образом, чтобы арка циклоиды пересекала точки A и B.

Исходя из специфики технологического процесса и конструктивных особенностей селекционной сеялки допустимая максимальная длина семянаправителя выделена цветом на рисунке 3. Условию минимального по длительности перемещения семени по семянаправителю селекционной сеялки соответствуют радиусы образующей окружности r_1 и r_2 .

Для определения радиуса образующей окружности проведем ряд преобразований уравнений (2):

$$\begin{aligned} r &= x / (t - \sin t); \\ y/x &= (1 - \cos t) / (t - \sin t). \end{aligned} \quad (3)$$

После компоновки рабочих органов селекционной сеялки, когда выбраны ордината y и абсцисса x при $0 \leq t < 2\pi$, определяется методом подстановки искомый радиус образующей окружности циклоиды. При этом на выбор параметра t влияет вид высеваемой селекционной сеялкой сельскохозяйственной культуры, физико-механические свойства семян.

В результате расчета установлена длина семянаправителя селекционной сеялки для высева зерновых и зернобобовых культур, которая составляет 1,0-1,25 м.

Выводы. Повышение надежности, от которой зависит точность и равномерность высева семян в процессе выведения новых сортов зерновых и зернобобовых культур может быть достигнуто путем модернизации элементарно-агрегатных компонентов селекционных сеялок обоснованием скоростного режима движения потока семян в семянаправителе. Обоснована наиболее рациональная конфигурация по критерию минимальной длительности перемещения семян. Установлено, что рациональной конфигурацией семянаправителя селекционной сеялки является

брахистохрона, на параметр которой оказывает влияние вид высеваемой селекционной сеялкой сельскохозяйственной культуры и физико-механические свойства семян. Длина семянаправителя селекционной сеялки для высева зерновых и зернобобовых культур составляет 1,0-1,25 м.

Библиографический список

1. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Шепелев В.Ю. и др. Основные направления совершенствования сеялок точного высева пропашных культур // Вестник НГИЭИ. 2022. N1(128). С. 7-21. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-1-7-21.
2. Бурменко Ф.Ю., Звонкий В.Г., Димогло А.В. и др. Инновационные инженерные решения в исследовании параметров высевающих аппаратов пневматических сеялок точного высева // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. 2022. N3(72). С. 101-108. EDN: INDSNT.
3. Раднаев Д.Н., Дарханов А.И., Шалбаева Р.Г. и др. К методике агротехнической оценки посева зерновых культур // Вестник ВСГУТУ. 2023. N1(88). С. 60-65. DOI: 10.53980/24131997_2023_1_60.
4. Мачнева П.А., Мачнев А.В., Хорев П.Н. и др. Результаты полевых исследований сеялки с двухкратно вогнутым несимметричным профилем желобков катушки высевающего аппарата // Нива Поволжья. 2023. N3(67). С. 3002. DOI: 10.36461/NP.2023.67.3.019.
5. Калабушев А.Н. Распределение высеваемого материала распределителем пневматической сеялки // Нива Поволжья. 2023. N1(65). С. 3001. DOI: 10.36461/NP.2023.65.1.018.
6. Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Воякин С.Н. и др. Повышение эффективности использования навесной селекционной сеялки СС-11 // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. N6(116). С. 62-66. DOI: 10.37670/2073-0853-2025-116-6-62-66.
7. Галаян А.Г., Медведько С.Н., Бондарев А.В. и др. Влияние сельскохозяйственной техники на реализацию потенциала урожайности озимой твердой пшеницы // Новые технологии. 2021. Т. 17. N1. С. 78-86. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-1-78-86.
8. Мударисов С.Г., Шарафутдинов А.В., Фархутдинов И.М. Повышение равномерности распределения семян горизонтальным распределителем зерновой пневматической сеялки // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. N2(50). С. 131-136. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-131-136.
9. Ванин Д.В., Ларюшин Н.П., Шумаев В.В. и др. Теоретические исследования технологического процесса работы сошника с гасителем скорости семян для посева зерновых культур // Нива Поволжья. 2020. N4(57).

C. 132-139. DOI: 10.36461/NP.2020.57.4.017.

10. Оробинский В.И., Корнев А.С. Влияние диаметра семяпровода на показатели высева // Наука в центральной России. 2024. N5(71). С. 60-64. DOI: 10.35887/2305-2538-2024-5-60-64.

11. Чулков А.С., Шайхов М.М. Математическое моделирование работы конусного высевашевого аппарата селекционной сеялки // Агроинженерия. 2025. Т. 27. N4. С. 40-46. DOI: 10.26897/2687-1149-2025-4-40-46.

12. Текушев А.Х., Овчаренко А.С., Мнацаканян А.Л. и др. Анализ конструкций порционных конусных высевашевого аппаратов селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т. 72. N1(58). С. 81-89. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-81-89.

13. Дудкин М.В., Вавилов А.В., Ким А.И. и др. Анализ тенденций развития посевных комплексов, их основных узлов и агрегатов // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2022. N4. С. 75-85. DOI: 10.51885/1561-4212_2022_4_75.

14. Терехин М.А. Анализ конструктивных особенностей однодисковых сошников современных зерновых сеялок // АгроЭкоИнженерия. 2025. N3(124). С. 33-47. DOI: 10.24412/2713-2641-2025-3124-33-47.

15. Сенников В.А., Сивоконь А.М. Анализ сошников зерновых сеялок // АГРОЭКОИНФО. 2022. N5(53). 32. DOI: 10.51419/202125509.

16. Булавиццев Р.А., Волженцев А.В. Анализ конструкций посевных комплексов // Агротехника и энергообеспечение. 2021. N1(30). С. 90-98. EDN: HNUOBV.

17. Даманский Р.В., Керученко Л.С., Чекусов М.С. и др. Исследование влияния траектории движения частиц в семяпроводе сошника при посеве зерновых культур // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. N4(48). С. 193-199. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_4_193.

18. Елизаров П.А. Перспективные направления развития селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. N4(45). С. 124-130. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-124-130.

19. Московский М.Н., Чулков А.С., Башлыков Я.С. Робот для подачи семян в селекционную сеялку // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2026. Т. 20. N1. С. 19-24. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-19-24.

References

1. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Shepelev V.Yu., et al. The main directions of improvement of precision seeders of row crops. Bulletin of NGIEI. 2022. N1(128). 7-21 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2022-1-7-21.

2. Burmenko F.Yu., Zvonkiy V.G., Dimoglo A.V., et al. Study of the influence of wearing of dosing disks pneumatic

devices vegetable seeders for quality seeding onion. Bulletin of the Pridnestrovian University. Series: Physical, mathematical and technical sciences. Economics and management. 2022. N3(72). 101-108 (In Russian). EDN: INDSNT.

3. Radnaev D.N., Darkhanov A.I., Shalbaeva R.G., et al. To the method of agrotechnical evaluation of sowing grain crops. Bulletin of VSGUTU. 2023. N1(88). 60-65 (In Russian). DOI: 10.53980/24131997_2023_1_60.

4. Machneva P.A., Machnev A.V., Khorev P.N., et al. Results of field studies of a seeder with a doubly concave asymmetrical profile of the grooves of the seeding unit roller. Niva Povolzhya. 2023. N3(67). 3002 (In Russian). DOI: 10.36461/NP.2023.67.3.019.

5. Kalabushev A.N. Distribution of seeded material by a pneumatic seeder distributor. Niva Povolzhya. 2023. N1(65). 3001 (In Russian). DOI: 10.36461/NP.2023.65.1.018.

6. Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Voyakin S.N. et al. Improving the efficiency of using the mounted selection planter SS-11. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2025. N6(116). 62-66 (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2025-116-6-62-66.

7. Galayan A.G., Medvedko S.N., Bondarev A.V. et al. Influence of agricultural machinery on the potential realization of winter hard wheat yield. New Technologies. 2021. Vol. 17. N1. 78-86. (In Russian) DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-1-78-86.

8. Mudarisov S.G., Sharafutdinov A.V., Farkhutdinov I.M. Improving the uniformity of seed distribution by a horizontal distributor of a grain pneumatic seeder. Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2019. N2(50). 131-136 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-131-136.

9. Vanin D.V., Laryushin N.P., Shumaev V.V. et al. Theoretical studies of the technological process of operation of a coulter with a seed velocity suppressor for planting grain crops. Niva Povolzhya. 2020. N4(57). 132-139 (In Russian). DOI: 10.36461/NP.2020.57.4.017.

10. Orobinsky V.I., Kornev A.S. The influence of the diameter of the seed duct on seeding indicators. Science in the Central Russia. 2024. N5(71). 60-64 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2024-5-60-64.

11. Chulkov A.S., Shaikhov M.M. Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder. Agricultural Engineering. 2025. Vol. 27. N4. 40-46 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2025-4-40-46.

12. Tekushev A.Kh., Ovcharenko A.S., Mnatsakanyan A.L., et al. Analysis of designs of batch cone sowing machines of breeding seeders. Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture. 2025. Vol. 72. N1(58). 81-89 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-81-89.

13. Dudkin M.V., Vavilov A.V., Kim A.I. et al. Analysis of development trends of seeding complexes, their main units and assemblies. *Bulletin of the East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbaev*. 2022. N4. 75-85 (In Russian). DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_75.

14. Terekhin M.A. Analysis of the design features of single-disc coulters of modern grain seeders. *AgroEco-Engineering*. 2025. N3(124). 33-47 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2025-3124-33-47.

15. Sennikov V.A., Sivokon A.M. Analysis of coulters of grain seeders. *AGROECOINFO*. 2022. N5(53). 32 (In Russian). DOI: 10.51419/202125509.

16. Bulavintsev R.A., Volzhentsev A.V. Analysis of the structures of sowing complexes. *Agrotechnics and energy supply*. 2021. N1(30). 90-98 (In Russian). EDN: HNUOBV.

17. Damansky R.V., Keruchenko L.S., Chekusov M.S., et al. Investigation of the influence of the trajectory of particles in the coulter seed tube when sowing grain crops. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2022. N4(48). 193-199 (In Russian). DOI: 10.48136/2222-0364_2022_4_193.

18. Elizarov P.A. Promising areas of breeding seeders development. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2021. Vol. 68. N4(45). 124-130 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-124-130.

19. Moskovsky M.N., Chulkov A.S., Bashlykov Ya.S. Seed feeding robot for selection seed drill. *Agricultural Machinery and Technology*. 2026. Vol. 20. N1. 19-24 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-19-24.

creating a draft of the manuscript, analysis and refinement of the solution;

Kambulov S.I. – creating a draft of the manuscript, analysis and refinement of the solution;

Bozhko I.V. – analysis and revision of the solution, creating a draft manuscript and its editing;

Chervyakov I.V. – analysis and revision of the manuscript;

Pakhomov V.I. – scientific supervision, problem setting, development of a solution concept.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026

Статья принята к публикации 21.07.2026

Заявленный вклад соавторов

Пархоменко Г.Г. – определение методологии исследования, анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, проведение расчетов, создание черновика рукописи, анализ и доработка;

Камбулов С.И. – создание черновика рукописи, анализ и доработка;

Божко И.В. – анализ и доработка решения, создание черновика рукописи и ее редактирование;

Червяков И.В. – анализ и доработка рукописи;

Пахомов В.И. – научное руководство, постановка задачи, формирование концепции исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Parkhomenko G.G. – determination of the research methodology, analysis of analytical and practical materials on the research topic, carrying out calculations,

СТАНОВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ГОСТЕХНАДЗОРА: ОТ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ СТАНЦИЙ К НАДЗОРУ ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТЕХНИКИ



*Мария Александровна Савченко, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Сергей Юрьевич Дрямов, старший научный сотрудник,
e-mail: nicgtn@mail.ru*

*Научно-исследовательский центр информационно-аналитического
обеспечения органов Гостехнадзора
Российского научно-исследовательского института информации
и технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса,
пгт. Правдинский, Московская область, Российская Федерация*

Реферат. Создание службы государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники обусловлено необходимостью обеспечения безопасности, контроля и регулирования использования техники в различных сферах. (Цель исследования) Изучение истории создания и становления службы государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники, ее функций и нормативно-правовой базе. (Материалы и методы) Объектом исследования является государственный надзор за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в России. Использовали в качестве материалов информацию профильных российских научных организаций, опубликованную в открытом доступе, интернет-ресурсы. Проводили исследование с помощью аналитических методов (сбор, систематизация, анализ, интерпретация данных; интеллектуальный анализ имеющейся информации). (Результаты и обсуждение) Представили в статье исторический обзор становления системы Гостехнадзора в России, описали задачи и функции на каждом временном этапе. Изучили вехи нормативно-правового регулирования деятельности органов Гостехнадзора. Описали взаимодействие с другими надзорными и контрольными службами, органами власти, организациями и гражданами, оказание им помощи в решении многих вопросов. Рассмотрели деятельность органов Гостехнадзора в настоящее время, заслуги и достижения. (Выводы) За прошедшие годы Гостехнадзор прошел славный путь, непрерывно модернизируя цифровые инструменты по учету самоходных машин и аттракционов, постоянно совершенствуя качество регистрационных и надзорных функций, оснащаясь современной диагностической техникой, средствами учета и обработки информации. Проведена масштабная работа по разработке и принятию законодательных актов, регламентирующих деятельность органов Гостехнадзора, наделяющих дополнительными полномочиями по осуществлению регионального государственного надзора.

Ключевые слова: Гостехнадзор, самоходная машина, инженер-инспектор, паспорт.

Для цитирования: Савченко М.А., Дрямов С.Ю. Становление системы Гостехнадзора: от машинно-тракторных станций к надзору за техническим состоянием техники // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. №3. С. 83-91. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-83-91. EDN: RLDXTC.

Analytical article

THE DEVELOPMENT OF THE GOSTEKNADZOR SYSTEM: FROM MACHINE AND TRACTOR STATIONS TO OVERSIGHT OF THE TECHNICAL CONDITION OF MACHINERY

*Mariya A. Savchenko, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Sergey Yu. Dryamov, senior researcher*

*Research Center for Information and Analytical Support for State Technical Supervision Authorities
Russian Research Institute of Information and Technical and Economic
Research on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex,
Pravdinsky settlement, Moscow region, Russian Federation*

Abstract. *The creation of a state supervision service for the technical condition of self-propelled machines and other types of equipment is due to the need to ensure safety, control and regulation of the use of equipment in various fields. (Research purpose) The research purpose is studying the history of creation and formation of the state supervision service over the technical condition of self-propelled machines and other types of equipment, its functions and regulatory framework. (Materials and methods) The object of the research is the state supervision of the technical condition of self-propelled machines and other types of equipment in Russia. We used as materials information of relevant Russian scientific organizations published in open access, Internet resources. Conducted research using analytical methods (collection, systematization, analysis, interpretation of data; intellectual analysis of available information). (Results and discussion) The article presents a historical overview of the formation of the Gostekhnadzor system in Russia, describes the tasks and functions at each time stage. We studied the milestones of regulatory and legal regulation of the activities of the Gostekhnadzor bodies. We described interaction with other supervisory and control services, authorities, organizations and citizens, assisting them in solving many issues. We reviewed the activities of the Gostekhnadzor bodies at the present time, merits and achievements. (Conclusions) Over the past years, Gostekhnadzor has passed a glorious path, continuously modernizing digital tools for accounting self-propelled cars, constantly improving the quality of registration and supervision functions, equipped with modern diagnostic equipment, accounting and information processing tools. Large-scale work has been done on the development and adoption of legislative acts regulating the activities of the Gostekhnadzor bodies, giving additional powers to implement regional state supervision.*

Keywords: *Gostekhnadzor, self-propelled machine, engineer-inspector, passport.*

For citation: *Savchenko M.A., Dryamov S.Yu. The development of the Gostekhnadzor system: from machine and tractor stations to oversight of the technical condition of machinery. Machinery Technical Service. 2026. Vol. 64. N3. 83-91 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-83-91. EDN: RLDXTC.*

Создание службы государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники (Гостехнадзор) обусловлено рядом важных причин, связанных с обеспечением безопасности, контроля и регулирования использования техники в различных сферах, таких как [1]:

- Обеспечение безопасности эксплуатации техники (самоходные машины (тракторы, комбайны, бульдозеры, погрузчики и др.) представляют потенциальную опасность при неправильном использовании); Гостехнадзор контролирует их техническое состояние, проводит осмотры и допускает к эксплуатации только исправные машины.

- Предупреждение аварий и травматизма (без надлежащего контроля возрастает риск поломок, ДТП и несчастных случаев в сельском хозяйстве, строительстве, лесной промышленности и других отраслях; Гостехнадзор устанавливает правила эксплуатации и проводит аттестацию операторов).

- Регистрация и учет техники (Гостехнадзор ве-

дет реестр самоходных машин, выдает государственные номера, свидетельства о регистрации и паспорта; это помогает бороться с хищениями, незаконным оборотом техники и уклонением от налогов).

- Контроль за соблюдением экологических норм (проверка соответствия двигателей экологическим стандартам (например, по выбросам вредных веществ; запрет на эксплуатацию техники устаревшей, неэкологичной, с неисправностями).

- Повышение квалификации операторов техники (Гостехнадзор выдает удостоверения трактористов (трактористов-машинистов) категории *AI, AII, AIII, AIV, B, C, D, E, F* после обучения и экзаменов; это снижает количество аварий из-за низкой квалификации водителей).

- Борьба с незаконной переделкой техники (некоторые владельцы самовольно модифицируют машины, что может привести к опасным последствиям; Гостехнадзор проверяет соответствие конструкции заводским нормам на агрегатах).

- Фискальная и налоговая функции (учет техни-

ки помогает взимать налоги и бороться с «теневой» эксплуатацией; Гостехнадзор необходим для соблюдения безопасности, порядка и законности в сфере эксплуатации самоходной техники; без такого контроля возрастают риски аварий, экологического ущерба и незаконного использования машин).

Цель исследования – изучение истории создания и становления службы государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники, ее функциях и нормативно-правовой базе.

Материалы и методы. Объектом исследования является государственный надзор за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в России. В качестве материалов использовалась информация профильных российских научных организаций, опубликованная в открытом доступе, интернет-ресурсы. Изучались материалы, посвященные нормативным актам, структуре органов и функциям Гостехнадзора на разных этапах истории, а также научные работы, посвященные истории органов Гостехнадзора в России. Исследование проводилось с помощью аналитических методов (сбор, систематизация, анализ, интерпретация данных; интеллектуальный анализ имеющейся информации).

Результаты и обсуждение. Создание Гостехнадзора неразрывно связано с передачей техники из машинно-тракторных станций сельскохозяйственным товаропроизводителям (колхозам и совхозам), которая была проведена в соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 18 апреля 1958 г. № 425 «О дальнейшем развитии колхозного строя и реорганизации машинно-тракторных станций». В этом документе предусматривалось также введение должностей государственных технических инспекторов Госсельтехнадзора в системе ремонтно-технологических станций.

В задачу технических инспекторов входило осуществление контроля и оказание помощи хозяйствам в вопросах технической эксплуатации машинно-тракторного парка. С образованием в феврале 1961 г. Всесоюзного объединения «Союзсельхозтехника» служба технического надзора была передана этой организации.

Первоначальное нормативное закрепление задач и функций надзора определялось Положением о государственном техническом инспекторе районного (межрайонного) отделения «Сельхозтехника», которое было утверждено постановлением Совмина СССР от 30 ноября 1961 г. №1058 «О мерах по улучшению использования и ремонта машинно-тракторного парка колхозов и совхозов».

В соответствии с этим положением государствен-

ный технический инспектор был призван оказывать колхозам и совхозам помощь в обеспечении эффективного использования машин и оборудования и осуществлять государственный надзор за техническим состоянием машинно-тракторного парка.

К служебным функциям технического инспектора относились проведение два раза в год технического осмотра МТП, а также проверка состояния хода и качества ремонта машин, хранения техники, нефтепродуктов, запасных частей и ремонтных материалов в колхозах и совхозах.

Кроме того, технический инспектор давал заключения о техническом состоянии машин и энергетического оборудования, представляемых на списание колхозами и совхозами. Он участвовал в комиссии по проверке знаний и практических навыков механизаторов, прошедших курсы подготовки и переподготовки трактористов, комбайнеров и машинистов колхозов и совхозов, принимал экзамены по правилам уличного движения от трактористов и выдавал им разрешения на допуск к работе на тракторах, выполняющих транспортные работы.

Для выполнения задач и в качестве мер воздействия технический инспектор имел право требовать предъявить для осмотра машины и оборудование, устранить в установленные сроки выявленные недостатки и нарушения в хранении, использовании и ремонте машинно-тракторного парка, изымать у механизаторов удостоверения на право управления машинами и отстранять их на срок до одного месяца от соответствующих работ за грубое нарушение правил технической эксплуатации и безопасности. За допуск к работе механизаторов, не имеющих прав на управление машиной, невыполнение указаний государственного технического инспектора об улучшении технической эксплуатации машинно-тракторного парка и хранения сельскохозяйственной техники производились денежные начеты в размере до 10 руб. на руководящих работников, непосредственно отвечающих за состояние машинно-тракторного парка.

К середине шестидесятых годов система «Сельхозтехники» выполняла значительную часть работ в области ремонта и технического обслуживания колхозов и совхозов, оставаясь при этом неподнадзорной техническим инспекторам. Кроме того, технические инспекторы зачастую вынуждены были представлять интересы обслуживающих организаций, в структуре которых они находились, тем самым дискредитируя свое первоначальное назначение [2].

Такое положение не могло устраивать сельхозтоваропроизводителей и органы управления. По этой причине в Российской Федерации постановлением

Бюро ЦК КПСС по РСФСР и Совмина РСФСР от 5 апреля 1965 г. № 430 технические инспекторы были переведены в сельскохозяйственные органы управления всех уровней, а их головная организация в лице Государственной инспекции по надзору за техническим состоянием машинно-тракторного парка – в Министерство сельского хозяйства РСФСР.

Статус союзной системы с необходимыми надзорными функциями был получен после возложения в 1969 г. на Министерство сельского хозяйства СССР ответственности за состояние использования техники.

Постановлением Совмина СССР от 13 декабря 1969 г. № 122 в целях улучшения государственного надзора за техническим состоянием машинно-тракторного парка в колхозах, совхозах и других государственных сельскохозяйственных предприятиях и организациях на Минсельхоз СССР были возложены функции государственного надзора за техническим состоянием, соблюдением правил технической эксплуатации и списания машин и оборудования. Была признана необходимость образования для этой цели инспекций Госсельтехнадзора как самостоятельных структурных подразделений в Министерстве сельского хозяйства СССР и министерствах сельского хозяйства союзных республик на правах главных управлений с подчинением непосредственно министрам, а в министерствах сельского хозяйства автономных республик, в краевых и областных управлениях сельского хозяйства – на правах отделов с подчинением непосредственно министрам и начальникам управлений [3].

В районных управлениях сельского хозяйства образовывались группы инженеров-инспекторов во главе со старшим инженером-инспектором, которые подчинялись областным (краевым) инспекциям Госсельтехнадзора.

Государственные инженеры-инспекторы наделялись надзорными полномочиями (запрещение эксплуатации машин, выдача предписаний, лишение механизаторов прав управления, право наложения денежных начетов в размере 10 руб. и т. п.). Кроме того, в их задачу входила выдача номерных знаков на тракторы, самоходные шасси и тракторные прицепы в системе сельского хозяйства, а с августа 1969 г. в соответствии с Правилами регистрации, утвержденными на основании постановления Совмина СССР от 10 марта 1969 г. № 179, и на самоходные дорожно-строительные машины.

Более совершенной структурой, функциями, полномочиями и правами органы Госсельтехнадзора были наделены постановлением Совмина СССР от 23 декабря 1975 г. № 1035, когда основное надзорное звено

из групп инженеров-инспекторов было преобразовано в районные инспекции Госсельтехнадзора. Важной вехой в становлении Госсельтехнадзора в тот период являлось установление норматива численности районных инспекций, использование которого позволило довести штатную численность его органов в РСФСР до 4,5 тыс. чел. (1982 г. – 3,4, 1989 г. – 2,7, 1993 г. – 1,6 тыс.).

Дополнительными функциями органов Госсельтехнадзора стало осуществление надзора за соблюдением в сельском хозяйстве правил транспортировки, хранения и расходования нефтепродуктов, порядка устранения недостатков в гарантийной технике, а также за качеством ремонта и технического обслуживания в организациях и на предприятиях «Сельхозтехники» (кроме специализированных) [4].

На районные инспекции возлагалось руководство работой квалификационных комиссий по аттестации трактористов-машинистов и выдаче удостоверений установленного образца, участие в комиссиях по рассмотрению претензий владельцев в связи с ненадлежащим качеством проданной или отремонтированной техники. Главный государственный инженер-инспектор района возглавлял комиссию, которая определяла целесообразность восстановления или списания машин и оборудования, пришедших в негодность вследствие аварий или стихийных бедствий.

В качестве дополнительных мер воздействия инженерам-инспекторам предоставлялось право налагать на виновных лиц денежные начеты в размере до 50 руб. и направлять в органы прокуратуры материалы о фактах преступно-небрежного использования или хранения техники, а равно ее разукрупнения.

В период существования Госагропрома СССР, в систему которого с 1986 по 1989 г. входили уже переименованные органы Гостехнадзора, постановлением Совмина СССР от 23 июля 1988 г. № 789 «О продаже в 1998-1990 годах кооперативам некоторых видов транспортной и сельскохозяйственной техники» на них дополнительно возлагался надзор за техническим состоянием и соблюдением правил технической эксплуатации тракторов и другой сельскохозяйственной техники, приобретаемой кооперативами.

В этом же году аналогичным нормативно-правовым актом от 25 августа № 1048 «О регистрации тракторов, прицепов к тракторам и самоходных сельскохозяйственных машин, находящихся в личной собственности граждан» на органы Гостехнадзора возлагались обязанности по регистрации тракторов и прицепов к ним и самоходных сельскохозяйственных машин, в том числе самоделных, находящихся в личной собственности граждан, и выдаче на них единых номерных знаков. За органами Гостехнадзора норма-

тивно закреплены прием экзаменов и выдача удостоверений на право управления машинами в отношении лиц, имеющих в личной собственности тракторы и другие самоходные машины, а также функции надзора и меры ответственности за нарушения, допущенные указанными владельцами техники.

В 1989-1991 гг., когда в качестве главного органа управления агропромышленным комплексом выступала Госкомиссия по продовольствию и закупкам Совмина СССР, а в последующем Минсельхоз СССР, на правительственном и даже законодательном уровне предпринимались попытки упорядочить нормативную базу органов Гостехнадзора, которые не увенчались успехом в связи с кризисом управления страной. Этому также препятствовало широко бытующее даже в верхних эшелонах власти мнение о том, что рынок все сам расставит на свои места и необходимость в надзорных органах в недалеком будущем отпадет. Однако практика показала необходимость выполнения, а в ряде случаев ужесточения многих надзорных функций, связанных с обеспечением безопасности жизни, здоровья людей и имущества, охраной окружающей среды, защитой интересов граждан и организаций. Об этом также свидетельствует опыт развитых зарубежных стран.

После распада СССР в 1991-1993 гг. деятельность органов Гостехнадзора осуществлялась без строгого нормативно-правового регулирования. Прежняя правовая база не отвечала требованиям другой системы и вступала в противоречие с действующим законодательством. Падали престиж и значимость органов Гостехнадзора, а это, в свою очередь, обозначило распад системы надзора. К этому времени в стране резко возросли различного рода нарушения, связанные с эксплуатацией машин и оборудования в агропромышленном комплексе и других отраслях хозяйственного механизма. Это дополнялось также ростом преступлений из-за отсутствия должного учета и контроля за принадлежностью машин. Сложившаяся ситуация требовала принятия экстренных и кардинальных мер.

Принятием постановления Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 13 декабря 1993 г. № 1291 «О государственном надзоре за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в Российской Федерации» было утверждено Положение о Гостехнадзоре, фактически воссоздавшее органы Гостехнадзора в новом качестве.

На уровне районов, городов, субъектов Российской Федерации и на федеральном уровне в органах управления АПК было предусмотрено создание государственных инспекций. Установленный порядок

надзора шагнул за пределы агропромышленного комплекса, а его нормативно-правовая основа не позволяла вмешиваться в неограниченную законодательством хозяйственную деятельность юридических и физических лиц, а также предотвращала возможные нарушения прав владельцев машин.

Принятие постановления Совета Министров – Правительства Российской Федерации послужило импульсом для разработки и утверждения целого ряда нормативных правовых актов, необходимых для деятельности органов Гостехнадзора.

На уровне Правительства Российской Федерации были утверждены постановления, на основании которых устанавливались основные нормы регистрации техники, а также вводились единые паспорта на самоходные машины и прицепы к ним.

В качестве ведомственных актов были утверждены:

- положение о паспорте самоходных машин и других видов техники;
- правила регистрации тракторов, самоходных дорожно-строительных и иных машин и прицепов к ним, проведения государственного технического осмотра таких машин, регистрации залога машин и прицепов, регистрируемых органами Гостехнадзора;
- перечень сборов, взимаемых органами Гостехнадзора;
- табель оснащения государственных инспекций Гостехнадзора и др.

Примерно в этот же период был принят ряд федеральных нормативных правовых актов, которые сыграли значительную роль в формировании системы и организации деятельности органов Гостехнадзора. Среди них Закон о внесении изменений в Кодекс РСФСР об административных правонарушениях, позволивший расширить полномочия органов Гостехнадзора по применению мер административной ответственности, Положение о порядке лицензирования деятельности по изготовлению государственных регистрационных знаков и защищенной спецпродукции, Правила комиссионной торговли непродовольственными товарами и т.д.

Следующим этапом в развитии структуры, функций и нормативно-правовой базы деятельности органов Гостехнадзора стал 1998 г., когда в Положении о Гостехнадзоре были внесены изменения, предусматривающие функционирование государственных инспекций Гостехнадзора как самостоятельных органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Эти изменения затронули и функции органов Гостехнадзора, к которым добавились надзор в агропромышленном комплексе за соблюдением установ-

ленного порядка организации и проведения сертификации работ и услуг в области технической эксплуатации поднадзорных машин и оборудования, а также надзор в период ответственности изготовителя и (или) поставщика за соответствием поднадзорных машин и оборудования условиям обязательной сертификации и наличием соответствующего сертификата [5].

В сферу деятельности органов Гостехнадзора вошла выдача удостоверений на право управления практически всеми видами регистрируемых машин, а не только тракторами и сельскохозяйственными машинами. Кроме того, государственные инженеры-инспекторы стали определять соответствие оборудования и оснащенности учебных учреждений, осуществляющих подготовку трактористов, трактористов-машинистов и машинистов самоходных машин, требованиям образовательного процесса. В число полномочий органов Гостехнадзора стали входить оценка технического состояния и определение остаточного ресурса поднадзорных машин и оборудования, а также производство по делам об административных правонарушениях.

Эти изменения не только наделили государственных инженеров-инспекторов новыми обязанностями, но и предоставили им право ношения форменной одежды.

В период с 1998 по 2004 г. были приняты Правила допуска к управлению самоходными машинами и выдачи удостоверений тракториста-машиниста (тракториста), упорядочившие деление самоходных машин по категориям в зависимости от вида двигателя и мощности двигателя; Порядок проведения государственного технического осмотра тракторов, самоходных дорожно-строительных и иных машин и прицепов к ним, зарегистрированных органами государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в Российской Федерации, который упорядочил организацию проведения гостехосмотра с учетом различной принадлежности машин и сроков их использования; Положение о внештатном инспекторе Гостехнадзора, позволившее привлечь дополнительные кадровые резервы для оказания помощи органам Гостехнадзора в осуществлении надзорных мероприятий. Также органы Гостехнадзора обрели свою ведомственную награду – нагрудный знак «Почетный инженер-инспектор Гостехнадзора».

В ходе административной реформы 2004 г. полномочия Минсельхоза России в области нормативно-правового регулирования и координации деятельности органов Гостехнадзора были поставлены под сомнение. Минсельхозу России, МВД России и Мин-

промэнерго России было поручено рассмотреть вопросы регистрации сельскохозяйственной техники и надзора за безопасностью ее эксплуатации (их передачу в МВД России).

Такая ситуация не устраивала Минсельхоз России, поскольку передача каких-либо полномочий в иные органы фактически могла привести к ликвидации системы органов Гостехнадзора.

Поэтому в течение 2004-2005 гг. Минсельхоз России проводил работу, направленную на отмену выше-названного решения, сохранение надзорных функций за инспекциями Гостехнадзора субъектов Российской Федерации и возвращение в компетенцию Минсельхоза России функций по нормативно-правовому и организационно-методическому обеспечению и координации деятельности государственных инспекций Гостехнадзора субъектов Российской Федерации. Позиция Минсельхоза получила поддержку МВД России, других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, в результате чего Правительственная комиссия по проведению административной реформы приняла новое решение о продолжении выполнения Министерством сельского хозяйства и государственными инспекциями Гостехнадзора субъектов Российской Федерации указанных функций.

Для нормативно-правового закрепления этого решения в 2005-2006 гг. Минсельхозом России разработан проект постановления Правительства Российской Федерации о внесении соответствующих дополнений и изменений в Положение о Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации, возвращенный Минсельхозу Аппаратом Правительства Российской Федерации. Это объясняется тем, что с учетом положений Федерального конституционного закона от 17 декабря 1997 г. № 2-ФКЗ «О Правительстве Российской Федерации» для издания указанного постановления нет оснований из-за отсутствия федерального закона о государственном надзоре за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники.

В связи с этим Минсельхозом России ведется работа над проектом Федерального закона «Об общих принципах организации государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в Российской Федерации», предусматривающего определение основных принципов организации государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники, эксплуатации и использования таких машин, а также осуществление данного надзора.

В 2005 г. Минсельхозу России удалось внести в Федеральный закон «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и испол-

нительных органов власти субъектов Российской Федерации» поправки, предусматривающие закрепление полномочий по надзору за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники за субъектами Российской Федерации. Это удалось сделать, благодаря помощи государственных инспекций Гостехнадзора Кировской, Сахалинской и Воронежской областей, Республики Мордовия и Алтайского края.

В 2007 г. также при помощи государственных инспекций Гостехнадзора субъектов Российской Федерации удалось внести изменения в часть Налогового кодекса Российской Федерации, касающуюся взимания государственной пошлины за юридически значимые действия, осуществляемые государственными инженерами-инспекторами Гостехнадзора.

Сегодня органы Гостехнадзора являются одним из главных гарантов обеспечения безопасного технического состояния самоходных машин агропромышленного комплекса и других отраслей экономики страны [6].

Инспекции постоянно проводят смотры и конкурсы, освещающие надзорную деятельность и работу организаций, которые успешно решают вопросы, контролируемые органами Гостехнадзора. Минсельхозом России в рамках ежегодной Всероссийской сельскохозяйственной выставки «Золотая осень» организуется экспозиция, раскрывающая деятельность органов Гостехнадзора.

Органы Гостехнадзора, взаимодействуя с другими надзорными и контрольными службами, органами власти, организациями и гражданами, оказывают им помощь в решении многих вопросов [7, 8].

Особую помощь оказывали и оказывают в организации работы органов Гостехнадзора многие депутаты и работники Аппарата Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, члены Совета Федерации, работники Аппарата Правительства Российской Федерации.

Важная роль в истории становления и развития органов Гостехнадзора принадлежит Государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации. Благодаря ее поддержке органы Гостехнадзора приобрели статус общегосударственного надзорного органа. Зачастую в нормативную базу органов Гостехнадзора закладываются нормы, разработанные и апробированные Госавтоинспекцией.

На федеральном уровне особо тесное взаимодействие налажено по нормативно-правовому обеспечению регистрации и государственного технического осмотра машин, а также приема экзаменов на право управления машинами и выдачи соответствующих

удостоверений.

На региональном уровне широко проводятся совместные проверки технического состояния машин в процессе использования и ежегодные профилактические операции «Трактор», «Снегоход» и др.

Взаимовыгодным оказалось сотрудничество с Генеральным штабом Вооруженных Сил Российской Федерации в нормативно-правовом обеспечении, следствием которого явилась совместная плодотворная работа районных (городских) инспекций Гостехнадзора с военными комиссариатами по обеспечению регистрации и проведения государственного технического осмотра самоходной техники и прицепов с одной стороны, а с другой – воинского учета этой техники и ее должного технического состояния [9].

Отмечая значение различных органов в организации деятельности органов Гостехнадзора, необходимо заметить, что главная роль в этом вопросе принадлежит Министерству сельского хозяйства Российской Федерации. Благодаря усилиям, поддержке и пониманию со стороны его руководства в ходе административной реформы удалось сохранить органы Гостехнадзора [10].

Выводы. За прошедшие годы Гостехнадзор прошел славный путь, непрерывно модернизируя цифровые инструменты по учету самоходных машин и аттракционов, постоянно совершенствуя качество регистрационных и надзорных функций, оснащаясь современной диагностической техникой, средствами учета и обработки информации.

Прделана масштабная работа по разработке и принятию законодательных актов, регламентирующих деятельность органов Гостехнадзора, наделяющих дополнительными полномочиями по осуществлению регионального государственного надзора.

Принят основной законодательный акт, регламентирующий деятельность органов Гостехнадзора – Федеральный закон от 2 июля 2021 г. № 297-ФЗ «О самоходных машинах и других видах техники», вступивший в силу 2 июля 2022 г. Федеральным законом установлены правовые и организационные основы деятельности в области технического состояния и эксплуатации самоходных машин и других видов техники. Закон содержит основные положения, касающиеся допуска к управлению самоходными машинами. Отдельные положения касаются регионального государственного контроля (надзора) в области технического состояния и эксплуатации самоходных машин и других видов техники.

С принятием постановлений Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2019 г. № 1732 «Об утверждении требований к техническому состоянию

и эксплуатации аттракционов», от 30 декабря 2019 г. №1939 «Об утверждении Правил государственной регистрации аттракционов», стали выполнимы в полном объеме на законодательном уровне.

Постановлением Правительства от 21 мая 2022 г. № 932 предоставлена возможность для граждан и организаций сократить сроки регистрационных действий в органах технадзора.

Постановлением Правительства от 20 мая 2022 г. № 917 закреплена возможность регистрации техники через МФЦ – в некоторых регионах такие технические условия уже созданы.

Правительство утвердило перечень неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация самоходных машин и других видов техники, – Постановление Правительства от 20 мая 2022 г. № 916.

Служба является реальным помощником для владельцев машин, она по-настоящему востребована хозяйствующими субъектами и механизаторами. Государственные инженеры-инспекторы Гостехнадзора ежегодно регистрируют около 50 тыс. самоходных машин и прицепов, проводят технический осмотр более чем 1 млн. самоходных машин и прицепов, подлежащих государственной регистрации, принимают экзамены на право управления самоходными машинами и выдают более 100 тыс. удостоверений тракториста-машиниста (тракториста), проверяют в процессе использования техническое состояние более 150 тыс. самоходных машин и прицепов, в том числе в ходе проведения операций «Трактор» и «Снегоход», рассматривают свыше 45 тыс. дел об административных правонарушениях.

Организация – это прежде всего люди, ее составляющие. От сотрудников Гостехнадзора требуется высокий профессиональный уровень, глубокие технические знания, твердость и принципиальность в пресечении противоправных действий и недопущении использования неисправной техники, постоянная готовность в оказании помощи юридическим и физическим лицам – собственникам самоходных машин. Это очень важно для обеспечения безопасности жизни и здоровья людей, сбережения имущества, охраны окружающей среды.

В Гостехнадзоре работают высококвалифицированные специалисты, которые стоят на страже прав и законных интересов граждан, успешно выполняющие все возложенные функции по осуществлению регионального государственного надзора. От нелегкого труда инспектора Гостехнадзора зависит продовольственная безопасность и стабильность экономического развития России.

Библиографический список

1. Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А. и др. Техническое регулирование в области сельскохозяйственных самоходных машин с учетом переоснащения и внесения изменений в конструкцию // *Транспортное дело России*. 2024. N2. С. 91-94. EDN: NHCRAD.
2. Годлевская Е.В. Государственная политика в сфере развития сельского хозяйства страны в период с 1920 по 2020 год: научно-техническое обеспечение Южного Урала // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N3. С. 110-118. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-110-118.
3. Ценч Ю.С., Курбанова Е.С. Приоритеты развития сельскохозяйственной техники СССР в период с 1950 по 1970 год // *Технический сервис машин*. 2022. N4. С. 158-170. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-4-158-170.
4. Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Пыжов В.В. Развитие методов восстановления деталей тракторных двигателей // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N1. С. 102-110. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.
5. Парлюк Е.П., Кушнарцева Д.Л. Совершенствование организации технического сервиса машин и оборудования // *Сельский механизатор*. 2023. N3. С. 38-40. DOI: 10.47336/0131-7393-2023-3-38-39-40.
6. Акимов С.А., Дрямов С.Ю. Опыт взаимодействия надзорных органов и объектов контроля // *Сельский механизатор*. 2023 N1-2. С. 20-21. DOI: 10.47336/0131-7393-2023-1-2-20-21.
7. Маринченко Т.Е. Устойчивое развитие АПК в контексте изменения климата: роль государственной политики // *Техника и оборудование для села*. 2025. N10. С. 44-50. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-10-44-48.
8. Чупров О.Ф. Гостехнадзор: пора укрепить правовую базу // *Сельский механизатор*. 2021. N7. С. 2-4. EDN: ETNDIM.
9. Васильев М.А., Майоров Д.В. Контроль за аттракционами: правовые аспекты // *Сельский механизатор*. 2022. N8. С. 32-33. EDN: LYFGNQ.
10. Кузовлев С.Б., Дрямов С.Ю. Передовые практики в работе органов гостехнадзора // *Сельский механизатор*. 2025. N11. С. 7-10. DOI: 10.47336/0131-7393-2025-11-22-23.

References

1. Didmanidze O.N., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., et al. Technical regulation in the field of agricultural self-propelled vehicles considering reequipment and structure changes. *Transport Business of Russia*. 2024. N2. 91-94 (In Russian). EDN: NHCRAD.
2. Godlevskaya E.V. State policy in the field of agricultural development of Russia from 1920 to 2020: scientific and technical support for the Southern Urals. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 110-118 (In Russian).

DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-3-110-118.

3. Tsench Yu.S., Kurbanova E.S. *Priorities for the development of agricultural machinery in the USSR in the period from 1950 to 1970. Machinery Technical Service. 2022. N4. 158-170 (In Russian).* DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-4-158-170.

4. Tsench Yu.S., Mironov D.A., Pyzhov V.V. *Development of methods for restoring tractor engine parts. Machinery Technical Service. 2025. Vol. 63. N1. 102-110 (In Russian).* DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.

5. Parlyuk E.P., Kushnareva D.L. *Improving the organization of technical service for machines and equipment. Rural Machine Operator. 2023. N3. 38-40 (In Russian).* DOI: 10.47336/0131-7393-2023-3-38-39-40.

6. Akimov S.A., Dryamov S.Yu. *Experience in interaction between supervisory authorities and control objects. Rural Machine Operator. 2023. N1-2. 20-21 (In Russian).* DOI: 10.47336/0131-7393-2023-1-2-20-21.

7. Marinchenko T.E. *Sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate change: the role of public policy. Machinery and Equipment for Rural Area. 2025. N10. 44-50 (In Russian).* DOI: 10.33267/2072-9642-2025-10-44-48.

8. Chuprov O.F. *Gostekhnadzor: it's time to strengthen the legal framework. Rural Machine Operator. 2021. N7. 2-4 (In Russian).* EDN: ETNDIM.

9. Vasilyev M.A., Mayorov D.V. *Control over attractions: legal aspects. Rural Machine Operator. 2022. N8. 32-33 (In Russian).* EDN: LYFGNQ.

10. Kuzovlev S.B., Dryamov S.Yu. *Best practices in the work of state technical supervision agencies. Rural Machine Operator. 2025. N11. 7-10 (In Russian).* DOI: 10.47336/0131-7393-2025-11-22-23.

Заявленный вклад соавторов

Савченко М.А. – подготовка текста, анализ и доработка текста;

Дрямов С.Ю. – научное руководство, анализ и доработка текста.

Все соавторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Savchenko M.A. – preparation of the text, analysis and refinement of the text;

Dryamov S.Yu. – scientific supervision, analysis and refinement of the text.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 05.06.2026

Статья принята к публикации 21.07.2026

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В АПК



*Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук,
член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник,
e-mail: vimaspr@mail.ru;*

*Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;*

Никита Александрович Попов, младший научный сотрудник

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация*

Реферат. Представили этапы развития и создания в России установок для сварки и наплавки для нужд агропромышленного комплекса. (Цель исследования) Проанализировать историю создания автоматизированных установок для сварки, наплавки и напыления, а также установить тенденции развития автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК. (Материалы и методы) Выполнили анализ динамики развития конструкции и функциональных параметров автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК на основании исторических данных и современных технических решений. Исследовали влияние способов восстановления и упрочнения на конструктивные особенности и комплектацию автоматизированных установок. (Результаты и обсуждение) История создания установок для сварки и наплавки неразрывно связана с развитием новых комплектующих для выполнения сварочных работ и автоматизации процесса на основе новых электронных компонентов. Определили, что основной тенденцией в мировой практике является блочно-модульное построение установок, позволяющее оперативно создавать и серийно выпускать оборудование для выполнения различных производственных задач. Исследование рынка показывает стремительное развитие многих российских предприятий по разработке, изготовлению и реализации автоматических сварочных установок. В настоящее время на рынке присутствуют более 15 основных фирм данного направления. Отмечается активный интерес учебных заведений по оснащению их лабораторной базы современными установками для сварки, наплавки и напыления для подготовки специалистов к работе с автоматическим оборудованием. (Выводы) Этапы развития установок для восстановления деталей АПК неразрывно связаны с появлением новых технических решений как в области сварочного оборудования, так и в области систем управления приводами для перемещения изделий и сварочного инструмента. На основании выполненных исследований установлен наиболее рациональный комплект оборудования для внедрения на предприятиях АПК по ремонту техники.

Ключевые слова: автоматизированные установки, сварка, наплавка, напыление, конструктивные особенности.

Для цитирования: Ценч Ю.С., Чавдаров А.В., Попов Н.А. Развитие автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 92-99. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-92-99. EDN: SVMALL.

Analytical article

DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEMS FOR RESTORATION OF PARTS IN AGRICULTURE

*Yuliya S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), corresponding member
of the Russian Academy of Sciences, chief researcher;*

Anatoliy V. Chavdarov, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Nikita A. Popov, junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. Presented the stages of development and creation of plants for welding and surfacing in Russia for the needs of the agro-industrial complex. (Research purpose) The research purpose is analyzing the history of creating automatic installations for welding, surfacing and spraying, as well as searching for trends in the development of automated installations for the restoration of parts in the agro-industrial complex. (Materials and methods) We performed an analysis of the dynamics of design development and functional parameters of automated installations for the restoration of parts in the agro-industrial complex on the basis of historical data and modern technical solutions. The influence of restoration and hardening methods on the design features and equipment of automated installations was studied. (Results and discussion) The history of welding and welding plants is inextricably linked with the development of new components for welding and process automation based on new electronic components. It was determined that the main trend in world practice is block-modular construction of installations, which allows to quickly create and produce equipment for various production tasks. Market research shows the rapid development of many Russian enterprises for the development, manufacture and sale of automatic welding plants. Currently, there are more than 15 major companies in this direction on the market. There is an active interest of educational institutions to equip their laboratory base with modern installations for welding, surfacing and spraying to prepare specialists for working with automatic equipment. (Conclusions) The stages of development of plants for the restoration of agricultural parts are inextricably linked with the emergence of new technical solutions both in the field of welding equipment and in the field of drive control systems for moving products and welding tools. Based on the studies performed, the most rational set of equipment for implementation at the enterprises of the agro-industrial complex for the repair of equipment was established.

Keywords: automated installations, welding, surfacing, spraying, design features.

For citation: Tsench Yu.S., Chavdarov A.V., Popov N.A. Development of automated systems for restoration of parts in agriculture. *Machinere Technincal Service*. 2026. 64. N3. 92-99 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-92-99. EDN: SVMALL.

История восстановительной сварки и наплавки насчитывает почти 150 лет. Русский инженер Н.Г. Славянов начал заниматься практической деятельностью в этой области в 1887 г. В 1890-1892 гг. он получил патенты на изобретение во Франции, Англии, Австро-Венгрии, Бельгии, Германии, США, Швеции, Италии. За границей сразу высоко оценили все преимущества электрической сварки.

Появление технологии наплавки за рубежом относится к 1896 г., когда английский инженер М. Спенсер получил патент на это изобретение. Начало автоматической наплавки относится к 1939 г., советские ученые Г.П. Михайлов и В.А. Ларионов осуществили наплавку с помощью покрытых электродов прямоугольного сечения. В настоящее время ее широко используют для нанесения коррозионностойкого покрытия на сосуды высокого давления атомных реакторов, для упрочнения валков прокатных станов и других крупногабаритных изделий.

История развития автоматических установок для сварки и наплавки неразрывно связана с появлением новых технических решений как в области сварочного оборудования, так и в области систем управления приводами для перемещения изделий и сварочного инструмента.

Переход от сварочных трансформаторов к выпрямителям с тиристорным управлением значительно повысил качество и производительность процессов сварки, наплавки и напыления. На смену им пришли сварочные аппараты, основанные на использовании IGBT – модуля с аналоговой схемой управления и с универсальными внешними характеристиками. Это позволило не только снизить вес в 2,5-3 раза, но и гарантировать работу сварочного аппарата при резких скачках напряжений, что характерно для строительных участков и сельскохозяйственных мастерских.

Первые установки для автоматической сварки, наплавки и напыления базировались на использовании электродвигателей, которые выпускались в то вре-

мя. Также широко применялись механические концевые датчики и электромагнитные реле. С развитием электроники на смену двигателям переменного тока пришли двигатели постоянного тока, которые позволяли бесступенчатую регулировку скорости вращения или перемещения инструмента. Именно такие двигатели позволили значительно ускорить процессы внедрения автоматических установок.

В середине XX в. были изобретены тиристоры, которые позволяли управлять частотой и амплитудой переменного напряжения. Появились преобразователи частоты (инверторы, частотники), которые в 1968 г. стали выпускаться серийно. Это позволило во многих случаях отказаться от более дорогих двигателей постоянного тока и вновь перейти на асинхронные двигатели.

Самой важной и практически повсеместно применяемой практикой комплектования автоматических установок в настоящее время стало появление программируемых логических контроллеров (ПЛК), операторских панелей (ОП) и разнообразных бесконтактных датчиков. Перечисленные комплектующие позволяют создать установку, работающую без участия человека [1].

Следует отметить появление роботов-манипуляторов с числовым программным управлением [2].

Чаще всего их используют на предприятиях с массовым производством изделий, в частности, в автомобильной промышленности. Внедрение роботов позволяет практически полностью исключить влияние человеческого фактора на производственный процесс [3].

Для предприятий АПК внедрение роботов возможно только на крупных предприятиях по серийному выпуску техники.

Цель исследования – проанализировать историю создания автоматических установок для сварки, наплавки и напыления, а также установить тенденции развития автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК.

Материалы и методы. На основании исторических данных и современных технических решений выполнили анализ динамики развития конструкции и функциональных параметров автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК.

Исследовали влияние способов восстановления и упрочнения на конструктивные особенности и комплектацию автоматизированных установок.

На основании выполненных исследований определили наиболее рациональный комплект оборудования для внедрения на предприятиях АПК по ремонту техники.

Результаты и обсуждение. История развития и

создания установок для восстановления деталей сельхозтехники неразрывно связана с деятельностью ФНАЦ ВИМ. Именно на его базе и под его руководством был создан Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ) [4].

Основной задачей, поставленной перед ГОСНИТИ, была разработка документации, технологии и оборудования для обслуживания и ремонта парка сельхозмашин (рис. 1).

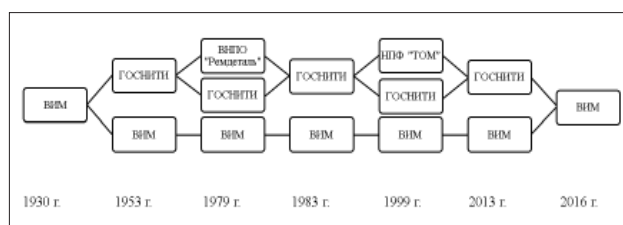


Рис. 1. Историческая взаимосвязь основных организаций по разработке и внедрению установок для ремонта сельхозтехники

Fig. 1. Historical interrelation of the main organizations for the development and implementation of installations for the repair of agricultural machinery

К середине восьмидесятых годов прошлого столетия стало понятно, что необходимо создание всероссийского научно-производственного центра по разработке технологий и оборудования для ремонтных предприятий и в 1979 г. по решению правительства СССР было создано Всесоюзное научно-производственное объединение «Ремдеталь» на базе нескольких подразделений ГОСНИТИ, которое эффективно проработало 24 года.

В состав Ремдетали вошли научно-исследовательский институт, опытно-конструкторское проектно-технологическое бюро с филиалами, расположенными в различных регионах страны, и 12 опытных заводов.

Именно с момента создания объединения и началась история советских, а позднее и российских автоматизированных установок. В 1986 г. удельный вес восстановленных деталей составил 19,6% от поставки новых. Следует отметить, что на сегодняшний день восстанавливаются лишь 4-5%, а количество специализированных предприятий по реновации деталей сократилось примерно в 10 раз [5].

Главным достижением объединения является поставка на ремонтные предприятия технологий и оборудования для восстановления техники.

История развития автоматических сварочных установок для сварки, наплавки и напыления. Одним из самых распространенных образцов оборудования Ремдетали для восстановления деталей из 320 выпу-

скаемых является установка УД-209, тираж которой превысил 140 000 единиц (рис. 2).

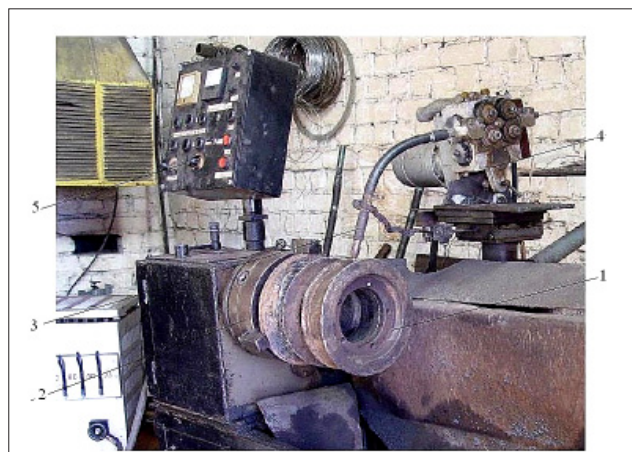


Рис. 2. Наплавка опорного катка гусеничного трактора порошковой проволокой на установке УД-209: 1 – каток; 2 – зажимной патрон; 3 – горелка; 4 – подающий механизм; 5 – пульт управления

Fig. 2. Surfacing the track roller with powder wire on the UD-209 installation: 1 – roller; 2 – clamping chuck; 3 – burner; 4 – feeding mechanism; 5 – control panel

По своему конструктивному исполнению она напоминает токарный станок, который приспособлен для наплавки тел вращения с использованием сварки под флюсом и полуавтоматической наплавки. Привод выполнен с использованием двигателя постоянного тока с тиристорным управлением; на момент разработки документации это был самый передовой способ бесступенчатого изменения скорости вращения заготовки.

С распадом СССР была нарушена централизованная связь между центром и филиалами и практически прекращен выпуск оборудования для восстановления деталей. Но учитывая важность направления на реновацию изделий и имея практический опыт создания соответствующих установок частью сотрудников Ремдетали в 1999 г. было принято решение о создании собственной организации по продолжению работ в этом направлении.

Первые серийные автоматические установки новой организации Научно-производственная фирма «Технологическая обработка материалов» (НПФ «ТОМ») были изготовлены в 2001 г. для восстановления деталей вращения железнодорожного состава. В соответствии с распоряжением по РЖД надо было изготовить и поставить более 130 установок для ремонта подвижного состава наплавкой и газотермическим напылением.

В основу конструкции данных установок различ-

ного назначения были положены использование двигателей постоянного тока с платой управления на современной на тот момент элементной базе, концевых выключателей для ограничения зоны восстановления, электромеханических реле синхронизации работы всех комплектующих. Установки комплектовались сварочным оборудованием для наплавки и напыления. Установки типа ТОМ-12 показали эффективность использования и надежность при постоянной нагрузке (рис. 3).

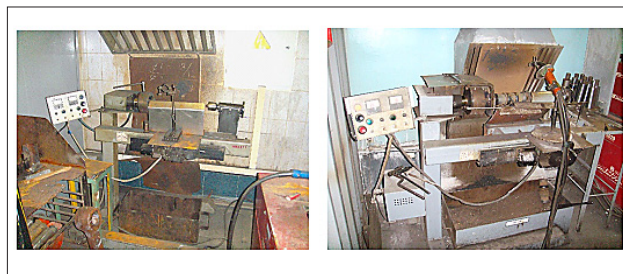


Рис. 3. Универсальные установки для сварки, наплавки и напыления ТОМ-12: а – 2002 года выпуска после 10 лет работы, Иркутск; б – 2002 года выпуска после 10 лет работы, Екатеринбург

Fig. 3. Universal installations for welding, surfacing and spraying ТОМ-12: а – produced in 2002 after 10 years of operation, Irkutsk; б – produced in 2002 after 10 years of operation, Yekaterinburg

В 2003 г. на российском рынке появились частотные преобразователи и конструкция установок была изменена с учетом более широких возможностей автоматизации всех процессов и управления исполнительными механизмами.

Установка ТОМ-14 для сварки, наплавки и напыления представлена на рисунке 4.

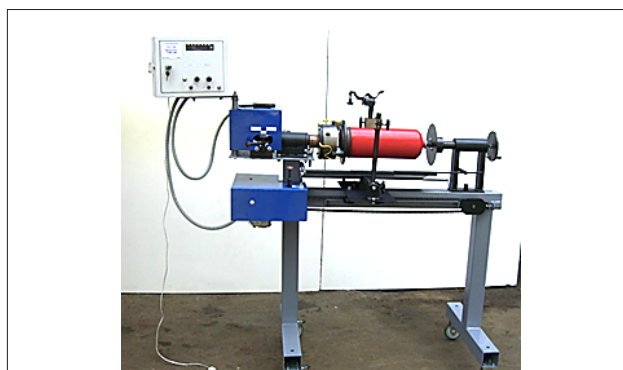


Рис. 4. Универсальная установка для сварки, наплавки и напыления ТОМ-14

Fig. 4. Universal installation for welding, surfacing and spraying ТОМ-14

Для напыления требуются на порядок большие скорости вращения детали и перемещения каретки. Поэтому в конструкции использовался механический

переключатель диапазонов. Компонировка и исполнение демонстрировались на выставках *Weldex* в КВЦ «Сокольники» и вызвали широкий интерес у посетителей из России и стран ближнего зарубежья (рис. 5).



Рис. 5. Выставка *Weldex* в КВЦ «Сокольники» в 2005 г.

Fig. 5. The exhibition *Weldex* at the Sokolniki Exhibition Center in 2005

РЖД заказало поставку еще 150 установок различного исполнения для своих нужд, а для нужд зарубежных предприятий было изготовлено не менее 35 установок. Серийный выпуск представлен на рисунке 6.



a



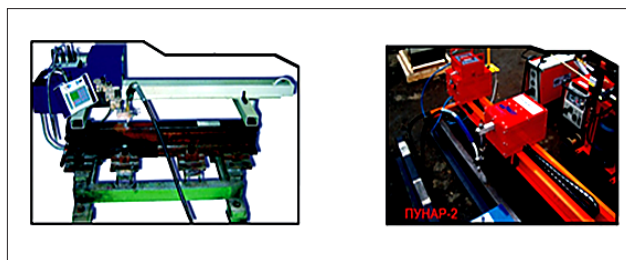
b

Рис. 6. Серийный выпуск автоматических установок на частотных преобразователях: а – автоматические установки TOM-14 для деталей типа «вал»; б – автоматические установки TOM-17 для восстановления отверстий

Fig. 6. Serial production of automatic installations on frequency converters, а – automatic installations TOM-14 for "shaft" type parts; б – automatic installations TOM-17 for hole restoration

Наступление новой эпохи в разработке и выпуске автоматических сварочных установок наступил с массового выпуска ПЛК, ОП, серводвигателей и шаговых двигателей. Появилась возможность полностью заменить ручной труд человека за счет работы установок по заложенной в ПЛК программы.

Одной из первых таких установок в России в области наплавки является комплекс для восстановления концов изношенных железнодорожных рельсов (рис. 7).



a

b

Рис. 7. Переносная установка для наплавки концов рельсов в пути «ПУНАР»: а – опытный образец; б – промышленный образец

Fig. 7. Portable installation for welding the ends of rails in the field PUNAR: а – prototype; б – industrial design

На настоящий момент можно констатировать, что все разнообразные по назначению автоматические установки комплектуются, как правило, именно на использовании ПЛК и сенсорной ОП с написанной программой для конкретной задачи. При этом может быть предусмотрен переход на выполнение различных подпрограмм переключением режима на операторской панели.

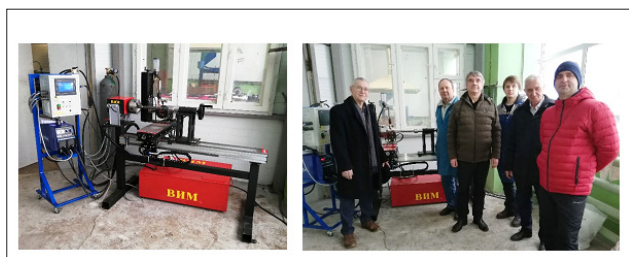
Тенденции развития автоматизированных установок для восстановления деталей в АПК. Следует отметить большое разнообразие методов и технологий реновации и упрочнения деталей [6].

Чаще всего они разрабатываются на базе новых материалов с использованием известных методов сварки и наплавки (электродуговые способы, газотермические методы, наплавка с использованием ТВЧ и другие) [7, 8].

К сожалению, чаще всего все эти работы не заканчиваются разработкой автоматизированных установок для внедрения на ремонтные предприятия. На этом фоне следует отметить положительное тесное сотрудничество ФНАЦ ВИМ с Калужским Министерством сельского хозяйства. Именно на Калужской МТС внедрены три технологических процесса и автоматизированное оборудование для реновации изделий.

Исследование рынка показывает стремительное

развитие многих российских предприятий по разработке, изготовлению и реализации автоматических сварочных установок (рис. 8).



a

b

Рис. 8. Установка для плазменной наплавки деталей типа «вал» 2020 г.: а – установка; б – сдача комиссии Минсельхоза
Fig. 8. Installation for plasma welding of "shaft" type parts in 2020: a – installation; b – commission of the Ministry of Agriculture

На данный момент на рынке присутствуют более 15 основных фирм в этом направлении. Универсальная установка для сварки и наплавки предприятия ASOIK приведена на рисунке 9.



Рис. 9. Универсальная установка для сварки и наплавки ASOIK, Пермь

Fig. 9. Universal welding and surfacing unit ASOIK, Perm

На представленном примере можно отметить использование современных средств управления всеми компонентами установки: ПЛК с управляющей программой, сенсорная ОП, шаговые двигатели, линейные модули для перемещения горелки. Однако подобные полнокомплектные установки стоят 10-14 млн руб. и далеко не каждое сельхозпредприятие может позволить себе такое оборудование.

В результате анализа конструктивных особенностей автоматических установок установлено, что наибольшее применение получил блочно-модульный принцип их комплектования. Вне зависимости от способа обработки практически всегда присутствует металлический каркас, на который устанавливаются или шпиндельный узел для тел вращения, или

линейные модули для перемещения заготовки или инструмента для сварки, наплавки или напыления. Пульт управления, как правило, является самостоятельным узлом и либо связан с каркасом, либо устанавливается на отдельной стойке. Примером подобной комплектации может быть установка для сварки и наплавки, представленная на рисунке 10.

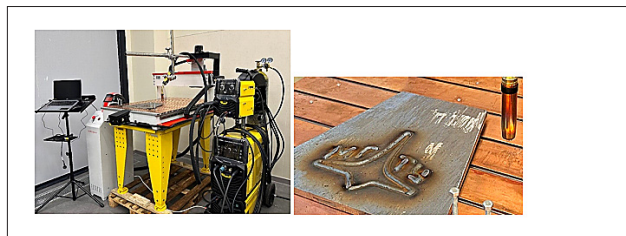


Рис. 10. Автоматизированная установка для упрочнения рабочих органов электродуговой наплавкой, ВИМ, 2024 г.

Fig. 10. Automated installation for strengthening working parts by electric arc welding, VIM, 2024

Установка внедрена в МГТУ им. Н.Э. Баумана в учебный процесс и для выполнения НИОКР. Принцип комплектации установок для университетов приведен в работе [9]. Основные тенденции комплектации сформулированы в работе [10].

В 2025 г. сотрудниками ВИМ представлена универсальная установка для сварки, наплавки и напыления (рис. 11).



Рис. 11. Универсальная установка для сварки, наплавки и напыления, ВИМ, 2025 г.

Fig. 11. Universal installation for welding, surfacing and spraying, VIM, 2025

Основной задачей при проектировании данной установки являлись именно универсальность и приемлемая цена. При этом учитывались основные наиболее часто применяемые на ремонтных предприятиях процессы сварки, наплавки и напыления, а также возможность дальнейшей модернизации установки для выполнения научно-исследовательских работ по разработке новых технологических процессов.

Конструктивно установка выполнена по блочно-модульному типу и включает в себя металлический каркас, шпиндельный узел, каретку для закрепления всех возможных на сегодняшний день инструментов для

сварки, наплавки и напыления, а также перемещающую заднюю бабку для закрепления деталей вращения.

Приводы вращения и перемещения каретки выполнены на базе шаговых двигателей, которые управляются от программируемого логического контроллера. Разработанная программа для ПЛК и сенсорной ОП написана на русском языке и не представляет сложности задавать необходимые параметры процесса. Типичные окна ОП для процесса наплавки представлены на рисунке 12.

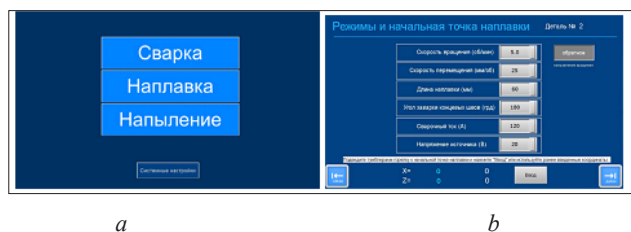


Рис. 12. Окна операторской панели для режима «наплавка»: а – выбор режима работы; б – ввод параметров наплавки

Fig. 12. Windows of the operator panel for the "surfacing" mode: a – selecting the operating mode; b – entering the surfacing parameters

В настоящее время на установке отрабатывается новая технология восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров с применением комбинированной технологии: нанесения на изношенную предварительно обработанную поверхность алюминиевого покрытия методом холодного газодинамического напыления (ХГДН) с последующей обработкой способом микродугового оксидирования – создания керамического покрытия.

Предложенная технология позволит восстанавливать гильзы вне зависимости от марки материала гильзы (стальные, чугунные, алюминиевые) до номинального размера. Пример нанесения покрытия приведен на рисунке 13.



Рис. 13. Процесс восстановления внутренней поверхности чугунной гильзы методом ХГДН на универсальной установке

Fig. 13. The process of restoring the inner surface of a cast-iron sleeve by the cold spray method on a universal installation

По стоимости новая универсальная установка примерно в два раза дешевле существующих на рынке, а по универсальности превосходит их. Такие установки можно рекомендовать для внедрения на ремонтные предприятия АПК.

Выводы. История развития установок для восстановления деталей АПК неразрывно связана с появлением новых технических решений как в области сварочного оборудования, так и в области систем управления приводами для перемещения изделий и сварочного инструмента.

Для ремонтных предприятий необходимы разработка и выпуск универсальных установок вследствие разнообразия используемых технологий сварки, наплавки и напыления.

На основании выполненных исследований установлен наиболее рациональный комплект оборудования для внедрения на предприятиях АПК по ремонту техники.

Библиографический список

1. Лицин К.В., Цуканов А.В. Разработка автоматизированного электропривода системы управления двухкоординатным станком сварки // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2021. №64(5). С. 382-388. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-5-382-388>.
2. Цзян Ди. Передовые способы автоматизации технологических процессов производства на предприятиях, ремонтирующих подвижной состав // Теория и практика современной науки. 2024. №7(109).
3. Горькавый М.А., Горькавый А.И., Гудим А.С. и др. Внедрение интеллектуальных роботизированных систем в производственные процессы судостроительного предприятия // Морские интеллектуальные технологии. 2021. №2-2(52). С. 97-104. DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.058.
4. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. История организации ГОСНИТИ // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. №4(141). С. 165-175. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-165-175.
5. Бураев М.К., Шистеев А.В., Бураева Г.М. и др. Проблемы технического сервиса агропромышленного комплекса Байкальского региона // Вестник ВСГУТУ. 2022. №3(86). С. 56-62. DOI: 10.53980/24131997_2022_3_56.
6. Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Попов Д.В. Развитие методов упрочнения почвообрабатывающих рабочих органов // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. №4. С. 154-164. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-154-164.
7. Колосовский А.М., Рожков А.С., Ожегов Н.М. и др. Упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин // Фундаментальные и прикладные проблемы

техники и технологии. 2023. N6(362). С. 43-51. DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-43-51.

8. Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Миронова А.В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. N1. С. 41-50. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.

9. Лялякин В.П., Чавдаров А.В. Современное сварочно-наплавочное оборудование для организации учебного процесса в университетах // Технология машиностроения. 2025. N1. С. 44-48. EDN: BPHBLR.

10. Чавдаров А.В. Современное оборудование для сварки, наплавки и напыления // Заготовительные производства в машиностроении. 2022. Т. 20. N9. С. 427-432. DOI: 10.36652/1684-1107-2022-20-9-427-432.

References

1. Litsin K.V., Tsukanov A.V. Automated electric drive for the control system of a two-coordinate welding machine. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021. N64(5). 382-388 (In Russian). DOI: 10.17073/0368-0797-2021-5-382-388.

2. Tszan Di. Advanced methods of automation of production processes at enterprises repairing rolling stock. *Theory and Practice of Modern Science*. 2024. N7(109) (In Russian).

3. Gorkavyy M.A., Gorkavyy A.I., Gudim A.S. Intelligent robotic systems implementation in the shipbuilding enterprise processes production. *Marine Intelligent Technologies*. 2021. N2-2(52). 97-104 (In Russian). DOI: 10.37220/MIT.2021.52.2.058.

4. Chernovanov V.I., Lyalyakin V.P. History of the GOSNITI establishment. *Machinery Technical Service*. 2020. Vol. 58. N4(141). 165-175 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-165-175.

5. Buraev M.K., Shisteev A.V., Buraeva G.M., et al. Problems of technical service of the agro-industrial complex of the Baikal region. *Essutn Bulletin*. 2022. N3(86). 56-62 (In Russian). DOI: 10.53980/24131997_2022_3_56.

6. Tsench Yu.S., Mironov D.A., Popov D.V. Development of methods for strengthening soil-cultivating working bodies. *Machinery Technical Service*. 2024 N62(4) 154-164 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-154-164.

7. Kolosovsky A.M., Rozhkov A.S., Ozhegov N.M., et al. The hardening of agricultural machines working bodies. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2023. N6(362). 43-51 (In Russian). DOI: 10.33979/2073-7408-2023-362-6-43-51.

8. Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Increasing the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 41-50 (In Russian).

DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.

9. Lyalyakin V.P., Chavdarov A.V. Modern welding and surfacing equipment for organizing the educational process at universities. *Technology of Machine Building*. 2025. N1. 44-48 (In Russian). EDN: BPHBLR.

10. Chavdarov A.V. Modern equipment for welding, surfacing and spraying. *Blank Production in Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 20. N9. 427-432 (In Russian). DOI: 10.36652/1684-1107-2022-20-9-427-432.

Заявленный вклад соавторов

Ценч Ю.С. – руководство исследованием, концептуализация, создание окончательной версии (доработка) и редактирование рукописи; Чавдаров А.В. – написание текста статьи; Попов Н.А. – проведение исследования, создание черновика рукописи. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Tsench Yu.S. – research management, conceptualization, creation of the final version (revision) and editing of the manuscript; Chavdarov A.V. – writing the text of the manuscript; Popov N.A. – conducting research, creating a draft manuscript. All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 15.06.2026

Статья принята к публикации 29.07.2026

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МОЛОЧНОМ ЖИВОТНОВОДСТВЕ



**Владимир Вячеславович Кирсанов, доктор технических наук,
член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник;**

**Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук,
член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник;**

**Дмитрий Юрьевич Павкин, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;**

**Евгений Александрович Никитин, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;**

**Равза Анваровна Баишева, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник**

**Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация**

Реферат. В статье представили основные достижения и вклад в развитие отрасли молочного животноводства ученых научно-исследовательских институтов. (Цель исследования) Изучение исторического опыта и вклада ученых ВИЭСХ, ВИМЭ и ФНАЦ ВИМ в развитие средств механизации и автоматизации процессов в молочном животноводстве Российской Федерации. (Материалы и методы) Проанализировали научно-технические и информационные источники, в которых представлены основные этапы развития в области механизации и автоматизации процессов молочного животноводства. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели создание в 1932 году под руководством В.С. Краснова первого в стране опытного электрифицированного совхоза имени Фрунзе. Оценили вклад Л.П. Кормановского в создание первой поточно-конвейерной технологии содержания и обслуживания животных, проведение теоретических исследований по обоснованию автоматизированных поточных линий обслуживания животных, разработку принципиально новых предложений по реконструкции и техническому переоснащению ферм. Отметили, что под руководством Ю.А. Цоя разработана конкурентоспособная импортозамещающая техника для молочных ферм, поставлено на серийное производство 23 наименования новых машин и оборудования в 27 регионах Российской Федерации на фермах с общим поголовьем свыше 90 тысяч коров. В настоящее время в ФНАЦ ВИМ разработаны цифровые интеллектуальные технологии и технические средства управления процессами доения в доильных залах типа Карусель, оборудование для проведения бонитировочных работ с использованием систем видеонаблюдения; предложена инновационная система определения качества молока в потоке при доении на основе лазерно-оптических технологий, интеллектуальная система контроля физиологического состояния крупного рогатого скота с применением датчиков-болюсов. (Выводы) Созданные В.С. Красновым, Л.П. Кормановским и Ю.А. Цоем образцы машин и оборудования, а также научные школы продолжают развиваться и масштабироваться в новых направлениях по цифровизации, автоматизации и роботизации животноводства в ФНАЦ ВИМ.

Ключевые слова: молочное животноводство, сельское хозяйство, роботизация, доильный робот, поточно-конвейерная технология, робот-пододвигатель корма.

Для цитирования: Кирсанов В.В., Ценч Ю.С., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Баишева Р.А. Научное наследие основоположников исследований по механизации и автоматизации процессов в молочном животноводстве // Технический сервис машин. 2026. Т. 64. N3. С. 100-107. DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-100-107. EDN: UXVNOW.

THE SCIENTIFIC LEGACY OF THE PIONEERS OF RESEARCH INTO THE MECHANIZATION AND AUTOMATION OF DAIRY FARMING PROCESSES

Vladimir V. Kirsanov, Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher;
Yuliya S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher;
Dmitriy Y. Pavkin, Ph.D.(Eng.), senior researcher;
Evgeniy A. Nikitin, Ph.D.(Eng.), senior researcher;
Ravza A. Baisheva, Ph.D.(Eng.), senior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the main achievements and contribution to the development of the dairy industry by scientists of research institutes. (Research purpose) The research purpose is studying the historical experience and contribution of scientists of VIESH, VIME and FSAC VIM in the development of mechanization and automation of processes in dairy farming of the Russian Federation. (Materials and methods) We analyzed scientific, technical and information sources, which present the main stages of development in the field of mechanization and automation of dairy farming processes. (Results and discussion) We considered the creation in 1932 under the leadership of V.S. Krasnov of the first experienced electrified state farm named after Frunze. We appreciated L.P. Kormanovsky's contribution to the creation of the first production-conveyor technology for keeping and servicing animals, carrying out theoretical studies to substantiate automated production lines for servicing animals, developing fundamentally new proposals for reconstruction and technical re-equipment of farms. It was noted that under the leadership of Yu.A. Tsoy, competitive import-substituting machinery for dairy farms was developed, 23 names of new machines and equipment were put into mass production in 27 regions of the Russian Federation on farms with a total herd of more than 90 thousand cows. Currently, the FSAC VIM has developed digital intelligent technologies and technical means of controlling milking processes in carousel-type milking halls, equipment for carrying out bonitration works using video surveillance systems; an innovative system for determining the quality of milk in the stream during milking on the basis of laser-optical technologies, an intelligent system for monitoring the physiological state of cattle using bolus sensors. (Conclusions) Designed by V.S. Krasnov, L.P. Kormanovsky and Yu.A. Tsoy samples of machines and equipment, as well as scientific schools continue to develop and scale in new areas of digitization, automation and robotization of animal husbandry in FNATS VIM.

Keywords: dairy farming, agriculture, robotics, milking robot, flow-conveyor technology, feed pusher robot.

For citation: Kirsanov V.V., Tsench Yu.S., Pavkin D.Y., Nikitin E.A., Baisheva R.A. The scientific legacy of the pioneers of research into the mechanization and automation of dairy farming processes. *Machinery Technical Service*. 2026. Vol. 64. N3. 100-107 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2026-64-3-100-107. EDN: UXVNOW.

Животноводство – отрасль сельского хозяйства, обеспечивающая производство необходимых продуктов питания для человека. Ученые и инженеры Всесоюзного института механизации (ВИМ) и его филиалов в 1930-1940 гг. разработали и поставили на производство ряд машин, облегчающих труд животноводов. К 1939 г. в ВИМ была создана и прошла проверку в колхозах система машин [1, 2].

Всесоюзное объединение сельскохозяйственного строительства Союзсельстрой к 1931 г. подготовило типовые проекты молочных ферм крупного рогатого скота на 100 и 200 голов, в которых была предусмотрена механизация основных процессов по содержанию и обслуживанию коров. К 1941 г. были созданы необходимые условия для комплексной механизации основных трудоемких процессов в животноводстве Советского Союза [3, 4].

При этом развитие механизации и автоматизации животноводства в те годы в стране осуществлялось в соответствии с разрабатываемыми на 5-10-летние периоды системами машин, в которых учитывался мировой и отечественный опыт функционирования ферм в передовых хозяйствах, опыт испытания техники машинно-испытательными станциями и другие факторы [5, 6].

Цель исследования – изучение исторического опыта и вклада ученых ВИЭСХ, ВИМЭ и ФНАЦ ВИМ в развитие средств механизации и автоматизации процессов в молочном животноводстве Российской Федерации.

Материалы и методы. В работе использовались общенаучные базовые методы и принципы исследования, основанные на общеисторических методах изучения, таких как историко-аналитический и хронологический методы.

Результаты и обсуждение. В 1932 г. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение ВИЭСХ совместно с акционерным обществом по электрификации сельского хозяйства Электросельстрой под руководством В.С. Краснова создали первый в стране опытный электрифицированный совхоз имени Фрунзе около г. Иваново. В этом совхозе были переведены на электродойку 3300 коров (с помощью импортных машин Альфа-Лаваль), для уборки навоза применялись подвесные дороги и электрокары, для раздачи кормов – подвесные дороги; были построены также электрифицированный кормоцех и молочная, молоко и телята облучались ультрафиолетовыми лучами; был организован электроветеринарный кабинет. Для освоения земель под прифермский севооборот было применено электрокорчевание пней; семена кормовых культур облучались ультрафиолетовыми лучами. Широко применялась электродная электрозапарка кормов: соломы, осоки, а при недостатке кормов – и древесных веток [7, 8].

Опытная работа в совхозе имени Фрунзе под руководством В.С. Краснова позволила дать технико-экономическую оценку различным способам электромеханизации молочных ферм и разработать проектные нормативы, которые были доложены на Первой Всесоюзной конференции по электрификации сельского хозяйства в январе 1931 г. и вошли в руководящий материал Госплана СССР (Генеральный план электрификации СССР: материалы к Всес. конф. Т. IV. Сельское хозяйство. 1932. 239 с.).

Результаты этих работ позволили сделать первые научные обобщения, создать учебный курс по электрификации животноводства для сельскохозяйственных вузов.

В послевоенные годы под руководством и при непосредственном участии В.С. Краснова исследованы и сконструированы доильные машины, измельчители кормов, гидравлические тараны, водонапорные башни, автоматические безбашенные водокачки, машинки для стрижки овец; разработаны предложения по созданию электростригальных агрегатов (многие из которых находятся в массовом производстве до настоящего времени), изучены способы механизации подготовки, транспортирования и раздачи кормов, уборки навоза; разработаны технические условия на изготовление соответствующих машин. Научные исследования по вентиляции животноводческих помещений, ультрафиолетовому облучению животных, водоснабжению доведены до практического применения [9].

В период с 1966 по 1980-е гг. В.С. Краснов изучал новую технологию содержания животных с учетом комплексной механизации, электрификации и автоматизации производственных процессов на фермах. Работа завершилась созданием индустриальной технологии производства продуктов животноводства, предложениями по совершенствованию системы машин для животноводческих ферм и созданием первой молочной фермы в опытном хозяйстве института «Котово», объединившей производство, переработку и продажу молока (рис. 1) [10].



Рис. 1. Молочная ферма в опытном хозяйстве «Котово», Истринский район, Московская область

Fig.1. Dairy experimental farm in Kotovo, Istra district, Moscow region

Работы, выполненные В.С. Красновым и его учениками, внесли значительный вклад в развитие механизации животноводства, в определенной мере способствовали тому, что производительность труда в этой отрасли сельского хозяйства возросла за период с 1965 по 1980-е гг. на 66%, были изданы 43 работы по комплексной механизации и электрификации трудоемких работ на животноводческих фермах, разработаны новые технологии по электроосве-

щению животноводческих зданий, применению люминесцентных ламп, автоматизации и проблемам управления на ферме.

Академик РАН Л.П. Кормановский – выдающийся российский ученый в области комплексной механизации животноводства и кормопроизводства, создатель первой в мире фермы с конвейерным содержанием коров. Вся его работа была неразрывно связана с научно-исследовательской деятельностью и посвящена разработке инновационных видов техники и ресурсосберегающих технологий в животноводстве [11].

Л.П. Кормановский занимался разработкой поточно-конвейерной технологии содержания и обслуживания животных, а также теоретическими исследованиями, направленными на обоснование автоматизированных поточных линий для их обслуживания. Он уделял основное внимание разработке и внедрению в производство принципиально новой техники, поточных автоматизированных линий и технологий производства продукции животноводства, созданию ферм-автоматов [12, 13].

Л.П. Кормановский, являясь руководителем Межотраслевого научно-технического центра по механизации и автоматизации молочных ферм «МНТЦ ВИЭСХ «Техника для молока», созданного на базе ВИЭСХ по решению Президиума Россельхозакадемии, разработал принципиально новые предложения по реконструкции, модернизации и техническому переоснащению молочных ферм.

Ключевые достижения в области механизации и автоматизации процессов молочного животноводства под руководством Л.П. Кормановского:

- научно обоснованная Стратегия развития регионального машиностроения и создание машинно-технологических станций;
- исследования по созданию новых технологий и техники для ферм по производству молока и использованию машин в животноводстве;
- Стратегия машинно-технологического обеспечения производства молока и говядины и Методические рекомендации по реконструкции и техническому переоснащению ферм, разработаны принципиально новые предложения по реконструкции молочных ферм с применением доильных площадок внутри стойловых помещений, оригинальных автопривязей, отвязей, а также автоматизированного переносного манипулятора при доении коров в молокопровод;
- исследование и разработка комбинированных многофункциональных машин для животноводства и смесителей-раздатчиков кормов для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей.

В 1988 г. под руководством Ю.А. Цоя был разра-

ботан конкурсный проект «Агроноосфера-2000», вошедший в число трех победителей Всесоюзного конкурса «Ферма–завод», проведенного ГКНТ СССР, Госагропромом СССР и Минсельхозмашем СССР. В 1989 г. проект был признан победителем Всесоюзного конкурса «Комплекс-2000» (животноводство), проведенного ВАСХНИЛ и ГКНТ СССР.

Разработанные в 1996-2004 гг. Ю.А. Цоем методология функционального анализа и синтеза элементно-агрегатной базы машин для животноводства и концепция поэтапного обновления и повышения их технического уровня позволили в кратчайшие сроки создать и наладить выпуск перспективного конкурентоспособного оборудования нового поколения для молочных ферм, которое по критерию «цена–качество» (по данным государственных испытаний машиноиспытательной станции «Северо-Западная МИС») превосходит лучшие мировые образцы, в их числе доильные установки с молокопроводом УДМ-100, УДМ-200, полуавтоматические установки для расфасовки молока «Фемапак-300» и «Фемапак-500», доильные установки «Елочка» и др. [14, 15].

В период с 2000 по 2004 г. велась совместная работа с НПЦ НАН Беларуси по механизации животноводства в рамках Российско-Белорусской программы «Молоко» под руководством член-корреспондента РАН Ю.А. Цоя, разработанное доильное и молочное оборудование получило высокую оценку на 6-й агропромышленной выставке «Золотая осень» в 2004 г. и награждено дипломом первой степени и золотой медалью.

В рамках государственной программы развития сельского хозяйства РФ отделом механизации и автоматизации процессов в животноводстве ФНАЦ ВИМ, возглавляемым Ю.А. Цоем, совместно с предприятиями Фемакс и Агромакс на базе собственных разработок отдела были осуществлены модернизация и техническое переоснащение молочных ферм с поголовьем свыше 90 тыс. коров, из них около 20 тыс. – беспривязно-бوكсового содержания.

В 2012 г. импортозамещающий комплекс машин для молочных ферм признан лучшей работой года Президиумом Россельхозакадемии, внедрен на молочных фермах более чем в 27 регионах Российской Федерации (рис. 2) [16, 17].

Отдельные положения научных трудов В.С. Краснова, Л.П. Кормановского, Ю.А. Цоя вошли в учебники для студентов сельскохозяйственных вузов.

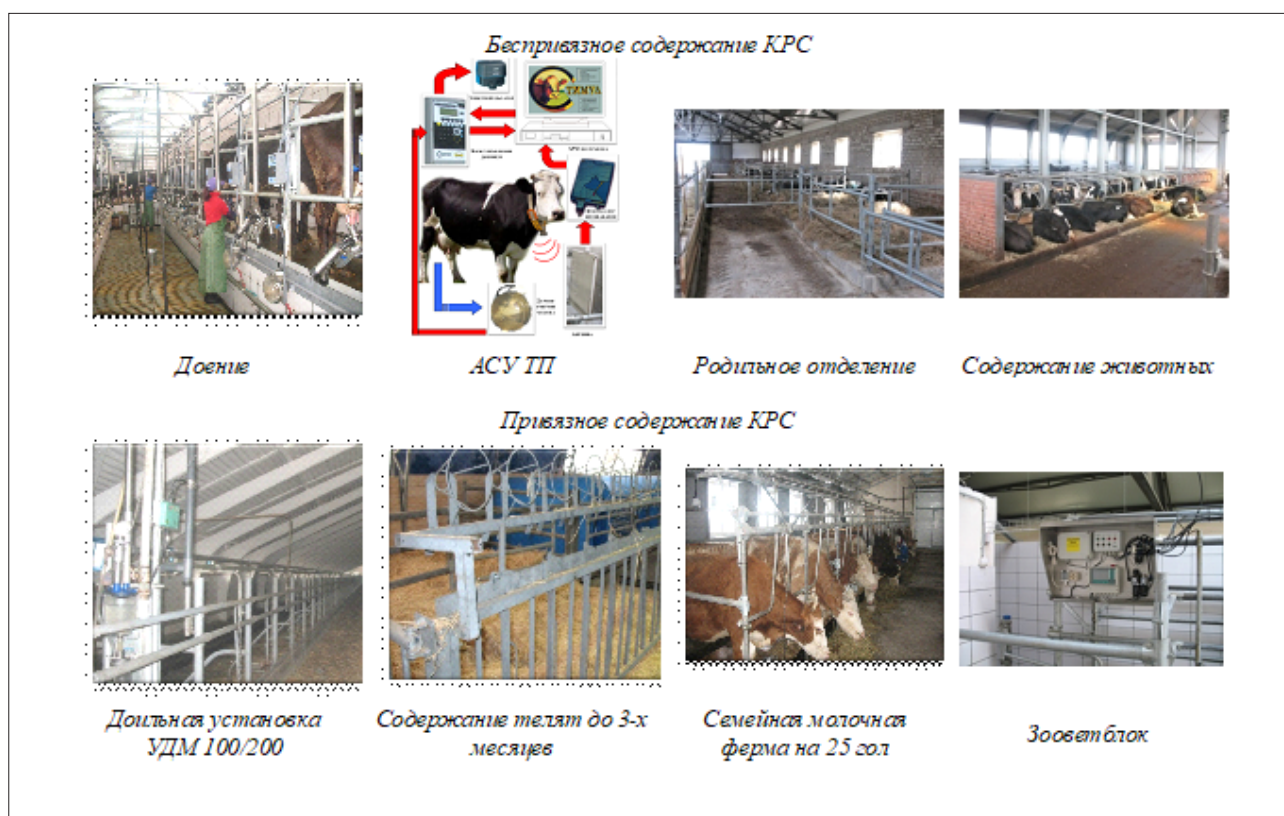


Рис. 2. Импортозамещающий комплекс машин для ферм с беспривязным и привязным содержанием крупного рогатого скота
 Fig. 2. An import-substituting set of machines for farms with loose-housing and tethered cattle

Отличительной особенностью этих выдающихся ученых и руководителей было широкое понимание и комплексное решение любого вопроса, прикладная направленность работ на конечный результат в виде производства новых машин и оборудования.

В настоящее время в ФНАЦ ВИМ ведутся работы по цифровизации и роботизации процессов в молочном животноводстве. Создан функциональный макет доильного роботизированного модуля-манипулятора, автоматизированный манипулятор с почетвертным доением коров для доильных залов типа «Елочка» и «Карусель».

Унифицированный автоматизированный доильный модуль с манипулятором и интеллектуальной системой управления процессом доения по четвертям вымени коровы, являющийся глубокой модернизацией манипулятора МД-Ф-1, обеспечивает управляемое стимулирующее электропульсаторами почетвертное доение, индивидуальное измерение потока молока и удоя с определением температуры и электропроводности молока по каждой четверти вымени, индивидуальное отключение доильных стаканов.

Автоматизированный манипулятор апробирован, его внедрение обеспечит снижение заболеваемости коров маститом и их преждевременную выбраковку на 25-30%, повышение продуктивного долголетия животных до 4-5 лактаций [18].

Создан лабораторный образец доильного робота с расширенными функциональными возможностями по почетвертному контролю процесса доения (скорость потока, удой, электропроводность молока, жир, белок, соматические клетки), определению биометрических характеристик сосков и вымени коров с использованием 3D TOF камеры (форма, расположение, координаты), с манипулятором доения повышенной маневренности с увеличенной зоной обслуживания и уменьшенной потребной зоной безопасности (рис. 3).

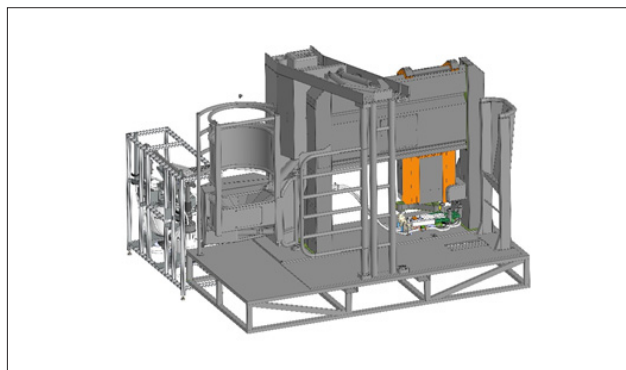


Рис. 3. Доильный робот с расширенными функциональными возможностями (лабораторный образец)

Fig. 3. Advanced automation milking system (laboratory prototype)

Разработан мобильный робот-пододвигатель корма для обслуживания кормового стола (рис. 4).



Рис. 4. Мобильный робот-пододвигатель корма

Fig. 4. Mobile robotic feed pusher

Представлены цифровые интеллектуальные технологии и технические средства управления процессами доения в доильных залах типа «Карусель», проведены бонитировочные работы с использованием систем видеонаблюдения, предложена инновационная система определения качества молока в потоке при доении (жир, белок, соматические клетки) на основе лазерно-оптических технологий, интеллектуальная система контроля физиологического состояния КРС с применением датчиков-болюсов [19].

Выводы. Проведен хронологический анализ научных разработок ученых ФНАЦ ВИМ, внесших вклад в развитие средств механизации, автоматизации и роботизации процессов в молочном животноводстве.

Созданные В.С. Красновым, Л.П. Кормановским и Ю.А. Цоем образцы машин и оборудования, а также научные школы продолжают развиваться и масштабироваться в новых направлениях по цифровизации, автоматизации и роботизации животноводства в ФНАЦ ВИМ. Опираясь на созданный научный задел, их последователи творчески развивают идеи своих предшественников, создавая новые образцы машин и оборудования для животноводства, подготавливая и воспитывая новые молодые перспективные научные кадры.

Библиографический список

1. Иванов Ю.А. Стратегические направления развития молочного скотоводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. N2(46). С. 18-23. DOI: 10.51794/27132064-2022-2-18.
2. Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N1. С. 11-18. DOI:10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18.
3. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Развитие механизации молочного скотоводства в России и Советском Союзе в первой половине XX века // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024. N25(2). С. 301-310. DOI:10.30766/2072-

9081.2024.25.2.301-310.

4. Хомутова Н.С., Ценч Ю.С. Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства (ВИМ): история создания и становления // *Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция*. 2019. С. 291-293. EDN: LKOAFG.

5. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.

6. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Мамедова Р.А. и др. Развитие средств механизации и автоматизации в молочном животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N1. С. 30-37. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-30-37.

7. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Марченко О.С. и др. Создание инновационной техники и ресурсосберегающих технологий производства кормов – основа развития животноводства // *Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина*. 2017. N6(82). С. 23-28. DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-23-28.

8. Ценч Ю.С. Роль отечественных научных школ в становлении и развитии механизации и электрификации сельского хозяйства России (1920-2023 гг.) // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. N1. С. 3-10. DOI 10.31857/S2500262724010019.

9. Акционерное общество по электрификации сельского хозяйства «Электросельстрой» и его деятельность. М.: Новая деревня. 1924. 36 с.

10. Краснов В.С. Опытная работа по механизации и электрификации сельского хозяйства в совхозе им. Фрунзе // *Электрификация сельского хозяйства*. 1932. N2. С. 39-51.

11. Молоснов Н.Ф. Памяти Валериана Семеновича Краснова (к 110-летию со дня рождения) // *Вестник ВИЭСХ*. 2012. N4(9). С. 66-70.

12. Кормановский Л.П. Опыт применения поточно-конвейерной технологии обслуживания коров // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N2(34). С. 28-32. EDN: KKLJSS.

13. Кормановский Л.П. О состоянии молочного животноводства и механизации ферм в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. N1. С. 13-15. EDN: KYUHSP.

14. Кормановский Л.П. Задачи агроинженерной науки на новом рубеже // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008. N1. С. 7-9. EDN: IJPLFB.

15. Цой Ю.А., Мильман И.Э., Баишева Р.А. и др. Сравнительная оценка импортных и отечественных комплексов машин для молочных ферм // *Техника и оборуду-*

дование для села. 2015. №6. С. 39-42. EDN: TXOWZB.

16. Стребков Д.С., Цой Ю.А. Интенсификация технологических процессов и повышение эффективности техники для молочных ферм // к 80-летию Юрия Алексеевича Цоя и 55-летию научной деятельности. М.: Росинформагротех. 2021. 72 с.

17. Цой Ю.А., Баишева Р.А. Технологические аспекты создания «умной» молочной фермы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. N2. С. 192-199. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199.

18. Памяти ученого. Цой Юрий Алексеевич. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. N25(3). С. 518. EDN: NHXGBS.

19. Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Морозов Н.М. и др. Цифровые технологии и роботы в молочном животноводстве. Серия: Мир робототехники и мехатроники. М.: Техносфера. 2023. 132 с. EDN: NAADAP.

References

1. Ivanov Yu.A. Strategic directions of dairy cattle breeding development. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2022. N2(46). 18-23 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2022-2-18.

2. Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. Historical and analytical assessment of automation and robotization for milking processes. *Agricultural Machinery and Technology*. 2023. Vol. 17. N1. 11-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18.

3. Vioryi V.F., Vioryi S.V. Development of mechanization of dairy cattle rearing in Russia and the Soviet Union in the first half of the twentieth century. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024. N25(2). 301-310 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.2.301-310.

4. Khomutova N.S., Tsench Yu.S. All-Union Institute of Agricultural Mechanization (VIM): history of creation and development. S.I. Vavilov Institute of the History of Natural Science and Technology. Annual scientific conference. 2019. 291-293 (In Russian). EDN: LKOAFG.

5. Tsench Yu.S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural Machinery and Technology*. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.

6. Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V., Mamedova R.A., et al. Evolution of mechanization and automation in dairy farming. *Agricultural Machinery and Technology*. 2024. Vol. 18. N1. 30-37 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-30-37.

7. Izmaylov A.Y., Lobachevsky Ya.P., Marchenko O.S., et al. Development of innovative machinery and resource-saving technologies of feed production as the basis of livestock breeding development. *Vestnik of Moscow State*

Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. 2017. N6(82). 23-28 (In Russian). DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-23-28.

8. Tsench Yu.S. The role of Russian scientific schools in the formation and development of mechanization and electrification for agriculture in Russia (1920-2023 years). *Russian Agricultural Science*. 2024. N1. С. 3-10 (In Russian). DOI 10.31857/S2500262724010019.

9. Joint-stock company for the electrification of agriculture "Elektroselstroy" and its activities. Moscow: Novaya Derevnnya. 1924. 36 (In Russian).

10. Krasnov V.S. Experimental work on the mechanization and electrification of agriculture at the Frunze state farm. *Electrification of Agriculture*. 1932. N2. 39-51 (In Russian).

11. Molosnov N.F. In memory of Valerian Semenovich Krasnov (on the 110th anniversary of his birth). *Bulletin of VIESH*. 2012. N4(9). 66-70 (In Russian).

12. Kormanovsky L.P. The experience of cows service flow-conveyor technology's application. *Bulletin of the All-Russian Research Institute of Livestock Mechanization*. 2019. N2(34). 28-32 (In Russian). EDN: KKLJSS.

13. Kormanovsky L.P. On the state of dairy farming and farm mechanization in Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2010. N1. 13-15 (In Russian). EDN: KYUHSP.

14. Kormanovsky L.P. Tasks of agricultural engineering at a new frontier. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2008. N1. 7-9 (In Russian). EDN: IJPLFB.

15. Tsoy Yu.A., Milman I.E., Baisheva R.A., et al. Comparative evaluation of foreign and domestic systems of machines for dairy farms. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2015. N6. 39-42 (In Russian). EDN: TXOWZB.

16. Strebkov D.S., Tsoy Yu.A. Intensification of technological processes and increasing the efficiency of equipment for dairy farms. On the 80th anniversary of Yuriy Alekseevich Tsoy and the 55th anniversary of scientific activity. Moscow: Rosinformagrotech. 2021. 72 (In Russian).

17. Tsoy Yu.A., Baisheva R.A. Technological aspects of smart dairy farm development. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2019. Vol. 20. N2. 192-199 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.192-199.

18. In memory of the scientist. Tsoy Yuriy Alekseevich. *Agricultural science of the Euro-North-East*. 2024. N25(3). 518 (In Russian). EDN: NHXGBS.

19. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Morozov N.M., et al. Digital technologies and robots in dairy farming. Series: World of robotics and mechatronics. M.: Technosphere. 2023. 132 (In Russian). EDN: NAADAP.

Заявленный вклад соавторов

Кирсанов В.В. – научное руководство, анализ и доработка текста;

Ценч Ю.С. – научное руководство, анализ и доработка текста;

Павкин Д.Ю. – подготовка текста, анализ литературных данных;

Никитин Е.А. – подготовка текста, анализ литературных данных;

Баишева Р.А. – подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста.

Все соавторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kirsanov V.V. – scientific guidance, analysis and revision of the text;

Tsench Yu.S. – scientific guidance, analysis and revision of the text;

Pavkin D.Yu. – text preparation, analysis of literary data;

Nikitin E.A. – text preparation, analysis of literary data;

Baisheva R.A. – preparation and analysis of literary data, text editing.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 26.06.2026

Статья принята к публикации 31.07.2026