ISSN 2618-8287

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

2 (151) 2023

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

№2 (151) 2023

Теоретический и 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). 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.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Черноиванов Вячеслав Иванович
доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ФНАЦ ВИМ (главный редактор, председатель редакционного совета)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Лялякин Валентин Павлович
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник 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

Денисов Вячеслав Александрович
доктор технических наук, заведующий отделом ФНАЦ ВИМ

Зиганшин Булат Гусманович
доктор технических наук, профессор, проректор по учебно-воспитательной работе, заведующий кафедрой, Казанский государственный аграрный университет

Кешуов Сейтказы Асылсеитович
доктор технических наук, профессор, ректор, Казахский НИИМЭСХ, Республика Казахстан

Габитов Ильдар Исмагилович
доктор технических наук, профессор, ректор, Башкирский ГАУ

Ценч Юлия Сергеевна
доктор технических наук, главный научный сотрудник, заместитель директора ФНАЦ ВИМ

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

Сенин Петр Васильевич
доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева

Ерохин Михаил Никитьевич
доктор технических наук, профессор, академик РАН, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

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

Тошболтаев Махамад Тожалиевич
доктор технических наук, профессор, зам. директора по науке и инновациям, Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Республика Узбекистан

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

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

Выходит 4 раза в год (Свободная цена).
Дата выхода в свет 26.06.2023 г., Формат 60 х 84/8. Объем 23,25 п.л., Тираж 100 экз., заказ 958.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2023

Theoretical and scientific-practical publication «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). 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.

EDITOR-IN-CHEF:

Chernoivanov Vyacheslav Ivanovich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the FSAC VIM (Chairman of the Editorial Board)

EDITORIAL BOARD:

Lyalyakin Valentin Pavlovich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Chief Researcher of the FSAC VIM (Deputy Chairman)

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

Denisov Vyacheslav Aleksandrovich
Dr.Sc.(Eng.), Head of Department at the FSAC VIM

Ziganshin Bulat Gusmanovich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Vice-Rector for Educational Affairs, Head of Department, Kazan State Agrarian University

Keshuov Seytkazy Asylseitovich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Rector, Kazakh Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Republic of Kazakhstan

Gabitov Ildar Ismagilovich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Rector, Bashkir State Agrarian University

Tsench Yulia Sergeevna
Dr.Sc.(Eng.), Chief Researcher, Deputy Director of the FSAC VIM

Spitsyn Ivan Alekseevich
Dr.Sc.(Eng.), Professor of Machine Maintenance Department, Penza State Agrarian University

Senin Petr Vasil'evich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Vice-Rector for Science and Research, N.P. Ogarev Mordovian State University

Erokhin Mikhail Nikit'evich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Popov Vladimir Dmitrievich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Supervisor at the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production

Toshboltaev Makhamad Tozhalievich
Dr.Sc.(Eng.), Professor, Deputy Director for Research and Innovation, Research Institute of Agricultural Mechanization, Republic of Uzbekistan

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

Actual address of the publisher, editorial office and printing house:
109428, Moscow, 1 st Institutsky pass., 5. bld. 1.
Phone: 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: **tsmvim@mail.ru**; valpal-1938@mail.ru

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

It turns out 4 times a year (Free price).
The format is 60x84 / 8. Circulation 100 copies.
Printed in the printing house of the FSBSI FSAC VIM.

Требования к оформлению материалов для опубликования

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.

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 10 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 иссле-

дования, 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», Лялякину Валентину Павловичу.

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

Requirements for the design of materials for publication

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 prepares 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", addressed to Lyalyakin Valentin Pavlovich.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Ценч Ю.С., Годлевская Е.В.
Сотрудничество ГОСНИТИ и ЧГАУ
в научно-исследовательской деятельности 12

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ.
РЕМОНТ

Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Градов Е.А.
Диагностика ДВС, состояние и перспективы развития
в инженерной службе АПК 25
Градов Е.А.
Бесконтактная диагностика определения технического состояния
двигателей внутреннего сгорания энергонасыщеной
сельскохозяйственной техники 32
Романов И.В., Задорожний Р.Н., Кудряшова Е.Ю.
Рец иклинг бронзовых отходов машиностроительных производств 40
Кушнарев Л.И., Кушнарев С.Л.
Качество продукции – основа конкурентоспособности
российского машиностроения 48
Балтиков Д.Ф., Шайхлисламова А.Ф., Леонтьев Д.С., Харисов Д.Д.
Энергетическая установка для переработки агропромышленных отходов
в моторное топливо. 56
Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х., Губжоков Х.Л., Фиапшев А.Г.
Математическое моделирование технологических процессов сборки
в машиностроительном и ремонтном производстве 65
Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Градов Е.А.
Ресурсосберегающая система утилизации сельскохозяйственной
техники как одно из важнейших направлений укрепления
технического потенциала агропромышленного комплекса 75

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Агеева Е.В., Серебровский В.И., Агеев Е.В., Кончин В.А.
Повышение эффективности процесса восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой твердосплавных электроэрозионных материалов 84
Михальченков А.М., Шустов А.Ф., Синяя Н.В., Лещев М.О.
Технология восстановления ножей составных лемехов импортного производства (на примере компании «Лемкен») 95
Кравченко И.Н., Мартынова Е.Г., Величко Ю.В., Ярина С.Г.
Методика расчета системы энергообеспечения производственных участков ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа 103
Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Евсюков А.А.
Исследование радиусов закругления режущих кромок упрочненных плоских ножей после производственных испытаний 113
Слинко Д.Б., Чавдаров А.В.
Восстановление металлоформ для центробежного литья труб из высокопрочного чугуна дуговой наплавкой 124
Рожков Ю.Н., Лялякин В.П., Аулов В.Ф.
Расчет и исследование процесса резания для повышения долговечности ножей измельчителя-разбрасывателя соломы комбайна 131
Костюков А.Ю., Аулов В.Ф, Евсюков А.А.
Устранение трещин в металлических деталях 138
Агеева Е.В., Серебровский В.И., Агеев Е.В., Кончин В.А.
Повышение эффективности процесса восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой твердосплавных электроэрозионных материалов 147
Романов И.В., Задорожний Р.Н., Кудряшова Е.Ю.
Модернизация установки для электроэрозионного диспергирования. 157

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Соболев Д.А.
Авиация на службе сельского хозяйства СССР: история вопроса 166
Ценч Ю.С., Курбанова Е.С.
Реализация идей В.П. Горячкина в решении проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов 177

CONTENTS

Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V.
Cooperation between gosniti and chgau in research activities 12

MAINTENANCE. REPAIR

Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Gradov E.A.
Diagnostics of internal combustion engines, state and prospects in the engineering service of the agro-industrial complex 25
Gradov E.A.
The contactless diagnostics to determine the technical condition of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery. 32
Romanov I.V., Zadorozhniy R.N., Kudryashova E.Yu.
Recycling of bronze waste in machine-building industry. 40
Kushnarev L.I., Kushnarev S.L.
Product quality as the basis of competitiveness of Russian engineering 48
Baltikov D.F., Shaykhlislamova A.F., Leont'yev D.S., Kharisov D.D.
Power plant for processing agro-industrial waste into motor fuel 56
Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Pazova T.Kh., Gubzhokov Kh.L., Fiapshev A.G.
Mathematical model of technological assembly processes in machine-building and repair production 65
Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Gradov E.A.
Resource-saving system of recycling of agricultural machinery as one of the most important directions for strengthening the technical potential of the agro-industrial complex. 75

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS

IAgeyeva E.V., Serebrovskiy V.I., Ageyev E.V., Konchin V.A.
Improving the efficiency of restoration and hardening of the working bodies of tillage machines by plasma-powder surfacing of carbide electroerosive materials . . . 84
Mikhal'chenkov A.M., Shustov A.F., Sinyaya N.V., Leshchev M.O.
Restoration of knives of composite ploughshares (on the example of the company «Lemken») 95
Kravchenko I.N., Martynova E.G., Velichko Yu.V., Yarina S.G.
Methodology for calculating the energy supply system for repair production sites of dough dividers of a vacuum piston type 103
Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Rozhkov Yu.N., Evsyukov A.A.
*I*nvestigation of cutting edge radius of hardened flat knives after production tests 113
Slinko D.B., Chavdarov A.V.
Restoration of metal molds for centrifugal casting of pipe from high-strength iron by arc welding 124
Rozhkov Yu.N., Lyalyakin V.P., Aulov V.F.
Calculation and investigation of the cutting process for improving the durability of knives of straw chopper-spreader 131
Kostyukov A.Yu., Aulov V.F, Evsyukov A.A.
Elimination of cracks in metal parts 138
Ageyeva E.V., Serebrovskiy V.I., Ageyev E.V., Konchin V.A.
Improving the efficiency of restoration and hardening of the working bodies of tillage machines by plasma-powder surfacing of carbide electroerosive materials 147
Romanov I.V., Zadorozhniy R.N., Kudryashova E.Yu.
Modernization of the installation for electric erosion dispersion 157

THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Sobolev D.A.
Aviation at the service of agriculture in the USSR: background 166
Tsench Yu.S., Kurbanova E.S.
Implementation of V.P. Goryachkin's ideas in increasing the working speeds of machine-tractor units 177

CC BY

DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-12-23 УДК-631.3:005.934.4

СОТРУДНИЧЕСТВО ГОСНИТИ И ЧГАУ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

[1]Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук, главный научный сотрудник;
[2]Елена Владимировна Годлевская, кандидат педагогических наук, доцент
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация
[2]Челябинский государственный промышленно-гуманитарный техникум имени А.В. Яковлева, г. Челябинск, Российская Федерация

К 85-летию Вячеслава Ивановича Черноиванова, государственного деятеля, видного ученого, доктора технических наук, профессора, академика Российской академии наук, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР

Реферат. *Конец 90-х – начало 2000-х годов можно охарактеризовать как период, в котором сложилась критическая ситуация, связанная с финансированием научно-исследовательских работ в агроинженерных вузах. Важную роль в системе агроинженерного обучения играли учебно-опытные хозяйства, которые выполняли функцию технического оснащения учебного и научно-производственного процесса. С прекращением выделения ассигнований из бюджета на развитие учебно-опытных хозяйств количество научных разработок сократилось. (Цель исследования) Изучить опыт организации новых форм поддержки учебно-научно-производственной деятельности на основе интеграции научного центра ГОСНИТИ с Челябинским государственным агроинженерным университетом на базе кафедры ремонта машин, инициатором выступил Вячеслав Иванович Черноиванов. (Материалы и методы) Рассмотрены основные направления и результаты деятельности Сектора №18, связанные с вопросами улучшения технического оснащения агропромышленного комплекса Южного Урала. (Результаты и обсуждение) Показано, что основными направлениями деятельности Сектора №18 являлись разработка технологий безразборного продления послеремонтного ресурса ДВС и агрегатов сельскохозяйственной техники с помощью применения наноматериалов; разработка технологий заострения рабочих органов почвообрабатывающих сельхозмашин с использованием электрофизических методов обработки; совершенствование производственного процесса с разработкой и внедрением СМК по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2008 при модернизации тракторов и комбайнов; реновация ремонтно-технологического оборудования; восстановление деталей электрофизическими методами. Отмечен важный вклад ученых в улучшение качества образования при подготовке инженеров технического сервиса сельскохозяйственных машин. (Выводы) Подготовка конкурентоспособных инженеров-механиков в вузах с необходимыми профессиональными знаниями, компетенциями и практическими навыками невозможна без тесного научного сотрудничества выпускающих кафедр вузов с соответствующими лабораториями ведущих научно-исследовательских институтов.*

Ключевые слова: *интеграция науки ГОСНИТИ и ЧГАУ, технический сервис, продление ресурса машин, безразборный ремонт, результат научной деятельности.*

Для цитирования: *Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Сотрудничество ГОСНИТИ и ЧГАУ в научно-исследовательской деятельности // Технический сервис машин. 2023. Т 61. N2(152). С. 12-23. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-12-23. VGMWTY.*

COOPERATION BETWEEN GOSNITI AND CHGAU IN RESEARCH ACTIVITIES

[1] Yuliya S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;
[2] Elena V. Godlevskaya, Ph.D. (Ped.), associate professor
[1] Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation
[2] Chelyabinsk State Industrial and Humanitarian College named after A.V. Yakovlev, Chelyabinsk, Russian Federation

To the 85 th anniversary of Vyacheslav Ivanovich Chernoivanov, statesman, prominent scientist, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Eng.), Professor, Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR

Abstract. *The end of the 90 – the beginning of the 2000 s can be characterized as a period in which there was a critical situation related to the financing of research in agroengineering universities. An important role in the system of agroengineering training was played by educational and experimental farms, which performed the function of technical equipment of the educational and scientific-production process. With the termination of the allocation of budget allocations for the development of educational and experimental farms, the number of scientific developments has decreased. (Research purpose) The research purpose is studying the experience of organizing new forms of support for educational, scientific and production activities based on the integration of the GOSNITI research Center with the Chelyabinsk State Agroengineering University on the basis of the Department of Machine Repair, initiated by Vyacheslav Ivanovich Chernoivanov. (Materials and methods) The main directions and results of the activity of Sector 18 related to the issues of improving the technical equipment of the agro-industrial complex of the Southern Urals are considered. (Results and discussion) It is shown that the main activities of Sector 18 were the development of technologies for the non-disassembly extension of the post-repair life of internal combustion engines and agricultural machinery units using nanomaterials; development of technologies for sharpening the working bodies of tillage agricultural machines using electrophysical processing methods; improvement of the production process with the development and implementation of QMS according to GOST R ISO 9001-2008 during the modernization of tractors and combines; renovation repair and technological equipment; restoration of parts by electrophysical methods. The important contribution of scientists to improving the quality of education in the training of engineers of technical service of agricultural machinery was noted. (Conclusions) The training of competitive mechanical engineers in universities with the necessary professional knowledge, competencies and practical skills is impossible without close scientific cooperation of the graduating departments of universities with the relevant laboratories of leading research institutes.*

Keywords: *integration of science of GOSNITI and ChGAU, technical service, prolongation of service life of machines, non-disassembly repair, result of scientific activity.*

For citation: *Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Sotrudnichestvo GOSNITI i CHGAU v nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti [Cooperation between gosniti*

and chgau in research activities].Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(152). 12-23 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-12-23. VGMWTY.

Введение. В статье представлены результаты сотрудничества академика В.И. Черноиванова с Челябинским государственным агроинженерным университетом с 1998 по 2016 год по проблеме повышения надежности послеремонтной сельскохозяйственной техники. Рассматривая основные направления научных исследований В.И. Черноиванова, особо надо отметить следующие разработанные им концепции: производство и снабжение АПК техникой; развитие инженерно-технического сервиса фермерских хозяйств; функционирование ремонтно-обслуживающей базы АПК. По предложению академика В.И. Черноиванова при кафедре ремонта машин в 1998 году была создана структура ГОСНИТИ: Сектор №18. Его руководителем был назначен заведующий кафедрой ремонта машин, кандидат технических наук, профессор, Заслуженный работник сельского хозяйства РФ А.К. Ольховацкий, соавтором разработок которого был заместитель директора по научной работе, член-корреспондент, доктор технических наук, профессор А.Э. Северный [1, 2].

Цель исследования – изучить опыт организации новых форм поддержки учебно-научно-производственной деятельности на основе интеграции научного центра ГОСНИТИ с Челябинским государственным агроинженерным университетом на базе кафедры ремонта машин, инициатором выступил Вячеслав Иванович Черноиванов.

Материалы и методы. Основными направлениями деятельности Сектора №18 были разработка технологий безразборного продления послеремонтного ресурса ДВС и агрегатов сельскохозяйственной техники с помощью применения наноматериалов; разработка технологий заострения рабочих органов почвообрабатывающих сельхозмашин с использованием электрофизических методов обработки; совершенствование производственного процесса с разработкой и внедрением СМК по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2008 при модернизации тракторов и комбайнов; реновация ремонтно-технологического оборудования; восстановление деталей электрофизическими методами [3].

Профессор А.К. Ольховацкий в качестве заведующего Сектором №18 был введен в состав совета директоров ОАО «Агропромтехника». Его первая научная работа в соавторстве с А.Э. Северным, согласно программе НИР, была опубликована в 1998 году в материалах Межрегиональной конференции «АПК в системе продовольственной безопасности» [4]. Статья была написана по результатам детального анализа состояния ремонтно-обслуживающей базы в Челябинской области. Сектором №18 по заданию ГОСНИТИ было обследовано более 20-ти предприятий ОАО «Агропромтехника», в результате была обоснована необходимость технического перевооружения бывших районных объединений «Сельхозтехника».

В частности, в статье отмечалось, что «низкая платежеспособность сельскохозяйственных товаропроизводителей и ремонтно-обслуживающих предприятий (РОП) способствовала разрушению многоуровневой системы и децентрализации технического обслуживания и ремонта техники, возврату к методу самообслуживания машин и оборудования собственными силами и средствами. Доля участия механизаторов в проведении ремонтно-обслуживающих работ возросла с 25-35 до 75-85%.

В связи с этим продление ресурса новых машин, поставляемых отечественными заводами, и, что особенно важно, продление послеремонтного ресурса машин, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий, являлось

весьма актуальной задачей. Эта задача была решена с применением в техническом сервисе МТП современных трибоматериалов и других новых энергосберегающих технологий» [5].

Учениками научной школы И.Е. Ульмана на кафедре и в отраслевой лаборатории (под руководством А.К. Ольховацкого) по данному направлению исследований были осуществлены следующие работы:

1. Разработаны методики проведения исследований.

2. Проведены лабораторные триботехнические исследования нанопрепаратов ВАФПИД и определены рациональные нанопрепараты для применения их в техническом сервисе сельхозтехники.

3. Проведены стендовые испытания наноматериалов на натурных агрегатах машин (на трансмиссиях трактора РТМ-160 на заводе ОАО «НПК Уралвагонзавод», на коробке передач трактора Т-170 на заводе ОАО «Челябинский завод тракторных трансмиссий») и мониторинг эксплуатационной проверки эффективности нанопрепаратов.

4. Разработана технология продления послеремонтного ресурса дизельных двигателей и определен ожидаемый экономический эффект от внедрения наноматериалов в сельском хозяйстве (*таблица 1*) [6].

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний наноматериалов на натурных агрегатах машин

Класс нанопрепаратов	**Модификатор трения: Форум, Аспект, УМ-2**	**Реметализанты Римет, Ресурс, Супермет**	**Кондиционеры металла: Феном, RENOM, ER. ENERGY, RELEASE, WAGNER ECOUniversal**	**Ревитализанты: RVS (РВС), ХАДО, ФОРСАН, СУПРОТЕК, НИОД, ОМКА, РЕАГЕНТ-2000, WAGNER MicroCeramic Oil**
Основное снижение коэффициента трения в 3-4 раза	Основное снижение коэффициента трения в 3-4 раза	Основное снижение коэффициента трения в 3-4 раза	Основное снижение коэффициента трения в 3-4 раза	Основное снижение коэффициента трения в 3-4 раза
Границы применения по величине износа ДВС	До 30%	До 40-50%	До 40%	До 70%
Механизм действия	Образование антифрикционных и противоизносных пленок на поверхностях деталей трибосопряжения (сервовитных пленок и других видов модифицирования поверхностей трибосопряжений)			Образование защитного слоя металлокерамики (МКЗС) на молекулярном уровне с поверхностью детали. Слой до 0,1-0,2 мм обладает высокой твердостью и износостойкостью
Влияние на изменение физико-химических свойств ТСМ	Возможно (минус)	Возможно (минус)	Отсутствует (плюс)	Отсутствует (плюс)

Необходимо отметить, что академики В.И. Черноиванов и В.В. Бледных не только утверждали программу НИР и использование результатов исследования в учебном процессе на факультете технического сервиса, но и активно принимали непосредственное участие в реализации планов в течение многих лет. С 2005 года А.К. Ольховацкий являлся лектором для студентов 4-го курса факультета ТС в АПК по дисциплине «Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин», которая включала результаты экспериментальных лабораторных и производственных исследований, эксплуатационных испытаний и внедрение технологии безразборного ремонта ДВС и других агрегатов тракторов и автомобилей.

Исследования осуществлялись совместно с Челябинскими фирмами ЗАО «Ассоциация – инжемаш», НПО «Руспромремонт» по РВС-технологии и фирмой «Инженерно-промышленная группа» по технологии применения препаратов немецкой фирмы *Wagne*r. Новые технологии безразборного ремонта агрегатов машин были внедрены более чем в 200-х промышленных, транспортных и сельскохозяйственных предприятиях. Данное направление НИР стало основным вектором деятельности Сектора №18 ГОСНИТИ. В 2010 году под редакцией В.И. Черноиванова было опубликовано учебное пособие для студентов Вузов по агроинженерным специальностям «Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин» (*рис. 1*) [7].

Рис.1. Учебное пособие для студентов вузов по агроинженерным специальностям «Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин»

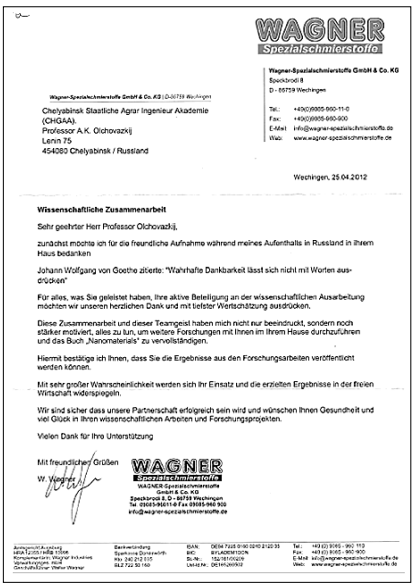
С 2006 по 2028 год по данному направлению было опубликовано более 20 статей в трудах ГОСНИТИ и несколько статей в журнале «Машинно-технологическая станция».

Проведенная работа по технологиям безразборного ремонта ДВС и агрегатов машин позволила выйти Сектору № 18 на международный уровень.

Так, в Челябинске в ЧГАУ 4 апреля 2012 года состоялось совещание по творческому международному научно-техническому сотрудничеству между ЧГАУ, ГОСНИТИ и фирмой *Wagner*, где ее управляющий Вальтер Вагнер высоко оценил вклад ЧГАУ и ГОСНИТИ при использовании препаратов фирмы и прислал благодарственные письма профессору А.К. Ольховацкому и директору ГОСНИТИ академику В.И. Черноиванову (*рис. 2*).

Активная работа Сектора №18 позволила опубликовать в издательстве

ГОСНИТИ три монографии и большое учебное пособие под общей редакцией академика В.И. Черноиванова, а А.К. Ольховацкий был руководителем авторских коллективов и редактором этих монографий [8-10].



WAGNER
Spezialschmierstoffe

Wagner-Spezialschmierstoffe GmbH & Co. KG
Speckbrodi 8
D - 86759 Weichingen

Tel.: +49(0)9085-960-11-0
Fax: +49(0)9085-960-900
E-Mail: info@wagner-spezialschmierstoffe.de
Web: www.wagner-spezialschmierstoffe.de

Wagner-Spezialschmierstoffe GmbH & Co. KG | D-86759 Weichingen

Chelyabinsk Staatliche Agrar Ingenieur Akademie
(CHGAA),
Professor A.K. Olchovazkij
Lenin 75
454080 Chelyabinsk / Russland

Weichingen, 25.04.2012

Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Sehr geehrter Herr Professor Olchovadkij,

zunächst möchte ich für die freundliche Aufnahme während meines Aufenthalts in Russland in ihrem Haus bedanken

Johann Wolfgang von Goethe zitierte: "Wahrhafte Dankbarkeit lässt sich nicht mit Worten ausdrücken"

Für alles, was Sie geleistet haben, Ihre aktive Beteiligung an der wissenschaftlichen Ausarbeitung möchten wir unseren herzlichen Dank und mit tiefster Wertschätzung ausdrücken.

Diese Zusammenarbeit und dieser Teamgeist haben mich nicht nur beeindruckt, sondern noch stärker motiviert, alles zu tun, um weitere Forschungen mit Ihnen im Ihrem Hause durchzuführen und das Buch „Nanomaterials" zu vervollständigen.

Hiermit bestätige ich Ihnen, dass Sie die Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten veröffentlicht werden können.

Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit werden sich Ihr Einsatz und die erzielten Ergebnisse in der freien Wirtschaft widerspiegeln.

Wir sind sicher dass unsere Partnerschaft erfolgreich sein wird und wünschen Ihnen Gesundheit und viel Glück in Ihren wissenschaftlichen Arbeiten und Forschungsprojekten.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung

Mit freundlichen Grüßen

W. Wagner

WAGNER
Spezialschmierstoffe
WAGNER-Spezialschmierstoffe
GmbH & Co. KG
Speckbrodi 8, D - 86759 Weichingen
Tel. 09085-96011-0 Fax 09085-960 900
info@wagner-spezialschmierstoffe.de

Amtsgericht Augsburg
HRA 12051 | HRB 15508
Komplementär: Wagner Industrie Spezialöl GmbH
Geschäftsführer: Walter Wagner

Bankverbindung
Sparkasse Donauwörth
Kto. 340 212 035
BLZ 722 50 160

IBAN: DE06 7225 0100 0340 2120 35
BIC: BYLADEM1DON
St.-Nr.: 152/181/00209
Ust-IdNr.: DE191126930

Tel.: +49 (0) 9085 - 960 110
Fax: +49 (0) 9085 - 960 900
E-Mail: info@wagner-spezialschmierstoffe.de
Web: www.wagner-spezialschmierstoffe.de

Рис. 2. Благодарственное письмо профессору А.К. Ольховацкому и директору ГОСНИТИ академику В.И. Черноиванову

В октябре 2016 года соискатель кафедры Технического сервиса ЧГАУ Д.А. Гительман успешно защитил кандидатскую диссертацию в Российском государственном аграрном университете – МСХА им. К.А. Тимирязева по теме «Повышение послеремонтной долговечности автотракторных двигателей с применением трибопрепаратов».

Освещая работу Сектора №18 ГОСНИТИ, необходимо остановиться на направлении, связанном с реновацией ремонтно-технологического оборудования агропромышленного комплекса региона Южного Урала. Заключив контракт с Уральским машиностроительным заводом (г. Еманжелинск), коллектив кафедры «Технология и организация технического сервиса» проводил работы по внедрению системы менеджмента качества модернизации и реновации тракторов Т-170.

Модернизация машин проводилась в процессе ремонта и предполагала проведение комплекса работ по улучшению качества их функционирования путем замены отдельных составных частей на более экономичные и надежные. В ходе проведения научных исследований в области модернизации и реновации сельхозтехники было выявлено, что в списанных тракторах 25,4% деталей пригодны для дальнейшей эксплуатации без дополнительной технологической обработки, у 40,5% – износ не превышает 0,2-0,3 мм, и их можно подвергнуть восстановлению. Стоимость таких восстановленных деталей составила 52% от стоимости новых, а их ресурс соответствовал 86% от новых. Были разработаны реновационные технологии, основанные на использовании электрофизических методов по заострению рабочих органов почвообрабатывающих сельхозмашин, включая заострение фигурных дисков тяжелых борон, технологию электроконтактной обработки наращенных металлизацией тормозных барабанов [11-13].

Результаты и обсуждение. Разработанные на кафедре реновационные технологии позволили продлить срок службы рабочих органов почвообра-

батывающих машин, переведя их из категории неремотопригодных в категорию ремонтопригодных. Так была решена задача заострения режущего лезвия лап культиватора и дисков тяжелых борон, изготовленных из стали 65 Г и термообработанных до твердости свыше 50 *HRC*. Эффект самозатачивания режущего лезвия рабочего органа почвообрабатывающих машин достигался благодаря снятию закаленного слоя с одной плоскости резания. Заточка проводилась с использованием подводной электроконтактной обработки, основанной на явлении электрической эрозии между вращающимся электродом-инструментом и деталью (*рис. 3*).

Обработанное на установке лезвие рабочего органа почвообрабатывающих машин в процессе эксплуатации длительное время сохраняло угол заострения в рабочем диапазоне.

Рис. 3. Станок для электроконтактного заострения лап культиваторов

В журнале «Труды ГОСНИТИ» авторами В.П. Лялякиным, А.К. Ольховацким отмечалось, что «полученные результаты исследования по заострению дисков способом ЭКО характеризуются высокой производительностью съема металла независимо от его твердости и удовлетворительной шероховатостью обработанной поверхности лезвий для работы в абразивной почвенной среде» [14].

Предполагалось, что данную установку можно использовать на любом сельхозпредприятии, имеющем серийный сварочный источник питания малой мощности, поэтому авторами была предложена и обоснована схема процесса обработки (*табл.2*).

На этой основе было выполнено несколько исследовательских дипломных работ студентами ремонтного факультета, которые высоко оценили председатели ГЭК. Опыт работы Сектора №18, полученный при выполнении нескольких контрактов с ремонтными и сельскохозяйственными предприятиями, позволил разработать курс лекций по реновации ремонтно-технологического оборудования и машин сельскохозяйственного назначения и издать учебное пособие в ГОСНИТИ, которое разработали профессора В.П. Лялякин и А.К. Ольховацкий под редакцией академика В.И. Черноиванова [15].

В качестве обмена опытом по методике преподавания дисциплины «Реновация ремонтно-технологического оборудования» была опубликована статья в журнале «Технология металлов» [16].

В 2002 году была защищена кандидатская диссертация Б.Я. Швагером по теме «Обоснование технических требований и совершенствование технологий капитального ремонта гидроагрегатов сельскохозяйственной техники», а в 2007 году – кандидатская диссертация А.В. Шутовым по теме «Разработка технологии размерной электроконтактной обработки восстановленных тормозных барабанов транспортных средств сельскохозяйственного назначения».

Таблица 2

Технологический процесс заострения дисков тяжелых борон способом ЭКО под слоем жидкости по патенту РФ № 91914 от 10.03.2010 г.

Структура технологического процесса	**Содержание технологических операций и технические требования**
Подготовка деталей перед ЭКО под слоем жидкости	Очистить базовые контактные поверхности диска от загрязнений и коррозии до металлического блеска (при необходимости холодная правка диска)
Установка детали на станке	Закрепить деталь в зажимном приспособлении. Обеспечить надежный электрический контакт детали и стола
Заполнение рабочей ванны жидкостью	Заполнить рабочую ванну жидкостью (технической водой плюс 0,5% кальцинированной соды). Слой жидкости над зоной обработки детали должен быть не менее 50 мм (согласно линейки по ГОСТ 427-75)
Электроконтактное заострение	1. Включить привод вращения электрода-инструмента. 2. Включить источник технологического тока. 3. Предварительно установить необходимый припуск обработки 4. В процессе ЭКО при механической или ручной подаче инструмента следить за показаниями амперметра и вольтметра, выдерживая заданный режим обработки (ток до 450 А при напряжении 20 В) 5. Заострить периферию диска по окружности с ручной подачей инструмента 6. Снять заостренный диск 7. Просушить заостренный диск 8. Проверить износ электрода-инструмента по высоте штангенциркулем (периодически, по мере необходимости)
Контроль детали после ЭКО	Проверить толщину кромки лезвия и угол заострения стандартными средствами измерения или специальными шаблонами

На основании этого исследования был получен патент на изобретение «Способ восстановления тормозных барабанов транспортных средств» (А.С. № 2314903. Бюлл. №2, 2008 г.), а работа внедрена в производство на ремонтном предприятии ГОРТРАНСа. По результатам исследований, содержащихся в этих диссертациях, было опубликовано более 20-ти статей в издательствах ЧГАУ, ГОСНИТИ, МГАУ им. В.П. Горячкина и в других организациях. В 2008 году авторы этих работ в соавторстве с академиком В.И. Черноивановым опубликовали в «Вестнике ЧГАУ» первую статью по применению наноматериалов, используемых для продления ресурса машин [17].

Выводы.

1. Приведенные фактические результаты совместных научно-исследовательских работ и внедрение в производство новых технологий по повышению надёжности и долговечности сельхозтехники показывают высокую эффективность интеграции академической науки с производством [18-21].

2. Подготовка конкурентоспособных, высококвалифицированных инженеров-механиков в вузах, обладающих необходимыми профессиональными знаниями, компетенциями и практическими навыками, невозможна без тесного научного сотрудничества выпускающих кафедр вузов с соответствующими лабораториями ведущих научно-исследовательских институтов.

3. С целью повышения качества подготовки инженеров целесообразно изыскать методы, стимулирующие профессоров вузов и ведущих ученых

НИИ к повышению уровня проведения научно-исследовательских работ на кафедрах с участием студентов.

Библиографческий список

1. Черноиванов В.И. О деле и личном. Размышления и воспоминания. М.: Росинфорагротех. 2008. 192 с.

2. Лялякин В.П. История создания учебно-производственных центров при кафедрах сельскохозяйственных университетов // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С.149-157.

3. Сектор восстановления агрегатов сельскохозяйственной техники с применением наноматериалов (N18, г. Челябинск). М.:ГОСНИТИ (сайт). 2023.

4. Ольховацкий А.К., Северный А.Э. Техническое перевооружение предприятий по техническому сервису – необходимое условие обеспечения продовольственной безопасности страны // Материалы конференции «Опыт и проблемы обеспечения продовольственной безопасности государства». Екатеринбург: УралГСХА. 1998. 199 с.

5. Коновалов С.М., Ольховацкий А.К. К вопросу обеспеченности и технического состояния сельхозтехники в Челябинской области // Материалы международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» Челябинск: ЧГАА. 2011. С. 28.

6. Ежевский А.А., Федоренко В.Ф., Аронов Э.Л. Стратегия, эффективность и опыт производственно-технического обеспечения сельского хозяйства во второй половине XX века. М.: Росинформагротех. 2004. 339 с.

7. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Гительман Д.А. и др. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин //Учебное пособие для студентов вузов под ред. академика РАСХН В.И. Черноиванова. М.: ГОСНИТИ. 2010. 68 с.

8. Черноиванов В.И., Соловьев Р.Ю., Ольховацкий А.К., Лялякин В.П. и др. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК. Монография. М.: ГОСНИТИ. 2012. 499 с.

9. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Солодкина Л.А., Соловьев С.А., Соловьев Р.Ю., Ольховацкий А.К. и др. Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве. Монография. М.: ГОСНИТИ. 2013. 298 с.

10. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки при восстановлении деталей машин. М.: ВНИИТУВИД, ЧГАУ, РАСХН. 1997. 40 с.

11. Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Устройство для электроконтактного заострения лезвий режущих органов почвообрабатывающих машин. Патент РФ на полезную модель N 91914 от 10.03.2010. Бюлл. N7. 2010.

12. Ольховацкий А.К., Шутов А.В. Реновация тормозных барабанов транспортных средств // Материалы 43 научно-технической конференции. Челябинск: ЧГАУ. 2004. 352 с.

13. Лялякин П.В., Ольховацкий А.К. Повышение стойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин // ТРУДЫ ГОСНИТИ. 2013. N2. С. 24-29.

14. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Черноиванов В.И. Реновации ремонтно-технологического оборудования и машин сельскохозяйственного назначения // Учебное пособие для подготовки инженеров-механиков в вузах. М.: ГОСНИТИ. 2009. 68 с.

15. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П. Методика преподавания дисциплины «Реновация ремонтно-технологического оборудования» // Технология металлов. 2008. N9. С. 44-47.

16. Черноиванов В.И., Ольховацкий А.К. Продление ресурса сельхозтехники с применением нанотехнологий и модернизацией в процессе ремонта //Вестник ЧГАУ.

2008. Т. 51. С.13-21.

17. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Гительман Д.А. и др. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин //Учебное пособие для студентов вузов под ред. академика РАСХН В.И. Черноиванова. М.: ГОСНИТИ. 2010. 68 с.

18. Черноиванов В.И., Соловьев Р.Ю., Ольховацкий А.К., Лялякин В.П. и др. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК. М.: ГОСНИТИ. 2012. 499 с.

19. Ценч Ю.С. Профессиональные стандарты как фактор сокращения дефицита квалифицированных кадров // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. Т. 67. N2. С. 62-65.

20. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического потенциала механизации сельского хозяйства России. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: ВИМ. 2021.

21. Ценч Ю.С. Развитие организаторской компетенции преподавателей в учреждениях среднего профессионального образования: дисс...канд. пед. наук: М.: МСХА им. К.А. Тимирязева. 2006.

References

1. Chernoivanov V.I. O dele i lichnom. Razmyshleniya i vospominaniya [About business and personal. Reflections and memories]. Moscow: Rosinforagrotekh. 2008. 192 (In Russian).

2. Lyalyakin V.P. Istoriya sozdaniya uchebno-proizvodstvennykh tsentrov pri kafedrakh sel'skokhozyaystvennykh universitetov [The history of the creation of educational and production centers at the departments of agricultural universities] // Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 149-157 (In Russian).

3. Sektor vosstanovleniya agregatov sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s primeneniyem nanomaterialov (N18, g. Chelyabinsk) [The sector of restoration of agricultural machinery aggregates using nanomaterials (N18, Chelyabinsk)]. Moscow:GOSNITI (site). 2023 (In Russian).

4. Ol'khovatskiy A.K., Severnyy A.E. Tekhnicheskoye perevooruzheniye predpriyatiy po tekhnicheskomu servisu – neobkhodimoye usloviye obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti strany [Technical reequipment of technical service enterprises as a necessary condition for ensuring the country's food security]. Materialy konferentsii «Opyt i problemy obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti gosudarstva». Ekaterinburg: UralGSKhA. 1998. 199 (In Russian).

5. Konovalov S.M., Ol'khovatskiy A.K. K voprosu obespechennosti i tekhnicheskogo sostoyaniya sel'khoztekhniki v Chelyabinskoy oblasti [Security and technical condition of agricultural machinery in the Chelyabinsk region]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu» Chelyabinsk: ChGAA. 2011. 28 (In Russian).

6. Ezhevskiy A.A., Fedorenko V.F., Aronov E.L. Strategiya, effektivnost' i opyt proizvodstvenno-tekhnicheskogo obespecheniya sel'skogo khozyaystva vo vtoroy polovine XX veka [Strategy, efficiency and experience of production and technical support of agriculture in the second half of the XX century]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2004. 339 (In Russian).

7. Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P., Solov'yev R.Yu., Gitel'man D.A. et al. Nanomaterialy v tekhnicheskom servise sel'skokhozyaystvennykh mashin [Nanomaterials in the technical service of agricultural machines] // Uchebnoye posobiye dlya studentov vuzov pod red. akademika RASKhN V.I. Chernoivanova. Moscow: GOSNITI. 2010. 68 (In Russian).

8. Chernoivanov V.I., Solov'yev R.Yu., Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P. et al.

Innovatsionnyye metody povysheniya posleremontnoy nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i investitsionnoy privlekatel'nosti remontno-obsluzhivayushchikh predpriyatiy v APK. Monografiya [Innovative methods of improving the post-repair reliability of agricultural machinery and the investment attractiveness of repair and maintenance enterprises in the agro-industrial complex. Monograph]. Moscow: GOSNITI. 2012. 499 (In Russian).

9. Chernoivanov V.I., Lyalyakin V.P., Solodkina L.A., Solov'yev S.A., Solov'yev R.Yu., Ol'khovatskiy A.K. et al. Formirovaniye investitsionnogo mekhanizma v sfere tekhnicheskogo servisa v sel'skom khozyaystve. Monografiya [Investment mechanism in the field of technical service in agriculture. Monograph]. Moscow: GOSNITI. 2013. 298. (In Russian).

10.Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P. Elektrofizicheskiye i elektrokhimicheskiye metody razmernoy obrabotki pri vosstanovlenii detaley mashin [Electrophysical and electrochemical methods of dimensional processing in the restoration of machine parts]. Moscow: VNIITUVID, ChGAU, RASKhN. 1997. 40 (In Russian).

11. Lyalyakin V.P., Ol'khovatskiy A.K. Ustroystvo dlya elektrokontaktnogo zaostreniya lezviy rezhushchikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Device for electric contact sharpening of blades of cutting organs of tillage machines]. Patent RF for utility model N 91914 10.03.2010. Byul. N7. 2010 (In Russian).

12. Ol'khovatskiy A.K., Shutov A.V. Renovatsiya tormoznykh barabanov transportnykh sredstv [Renovation of brake drums of vehicles]. Materialy 43 nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Chelyabinsk: ChGAU. 2004. 352. (In Russian).

13. Lyalyakin P.V., Ol'khovatskiy A.K. Povysheniye stoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Increasing the durability of the working bodies of tillage machines]. TRUDY GOSNITI. 2013. N2. 24-29 (In Russian).

14. Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P., Solov'yev R.Yu., Chernoivanov V.I. Renovatsii remontno-tekhnologicheskogo oborudovaniya i mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Renovation of repair and technological equipment and agricultural machinery]. Uchebnoye posobiye dlya podgotovki inzhenerov-mekhanikov v vuzakh. Moscow: GOSNITI. 2009. 68 (In Russian).

15. Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P. Metodika prepodavaniya distsipliny «Renovatsiya remontno-tekhnologicheskogo oborudovaniya» [Methodology of teaching the discipline "Renovation of repair and technological equipment"]. Tekhnologiya metallov. 2008. N9. 44-47 (In Russian).

16. Chernoivanov V.I., Ol'khovatskiy A.K. Prodleniye resursa sel'khoztekhniki s primeneniyem nanotekhnologiy i modernizatsiyey v protsesse remonta [Extending the life of agricultural machinery with the use of nanotechnology and modernization in the repair process]. Vestnik ChGAU. 2008. Vol. 51. 13-21 (In Russian).

17. Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P., Solov'yev R.Yu., Gitel'man D.A. et al. Nanomaterialy v tekhnicheskom servise sel'skokhozyaystvennykh mashin [Nanomaterials in the technical service of agricultural machines]. Textbook for university students, ed. by academician of RASKHN V.I. Chernoivanov. Moscow: GOSNITI. 2010. 68 (In Russian).

18. Chernoivanov V.I., Solov'yev R.Yu., Ol'khovatskiy A.K., Lyalyakin V.P. i dr. Innovatsionnyye metody povysheniya posleremontnoy nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i investitsionnoy privlekatel'nosti remontno-obsluzhivayushchikh predpriyatiy v APK. [Innovative methods of improving the post-repair reliability of agricultural machinery and the investment attractiveness of repair and maintenance] Moscow: GOSNITI. 2012. 499 (In Russian).

19. Tsench Yu.S. Professional'nye standarty kak faktor sokrashcheniya defitsita kvalifitsirovannyh kadrov [Professional standards as a factor in reducing the shortage of qualified personnel]. Vestnik Chelyabinskoy gosudarstvennoy agroinzhenernoy akademii. 2014. Vol. 67. N2. 62-65 (In Russian).

20. *Tsench Yu.S. Stanovlenie i razvitie nauchno-tekhnicheskogo potentsiala mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii [Formation and development of scientific and technical potential of mechanization of agriculture in Russia]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Moscow. VIM. 2021 (In Russian).*

21. *Tsench Yu.S. Razvitie organizatorskoy kompetentsii prepodavateley v uchrezhdeniyakh srednego professional'nogo obrazovaniya [Development of organizational competence of teachers in secondary vocational education institutions]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni ... kand. ped. nauk. Moscow. MSKHA im. K.A. Timiryazeva. 2006 (In Russian).*

Заявленный вклад соавторов

Ценч Ю.С. – научное руководство, подготовка материалов и методов;

Годлевская Е.В. – анализ результатов подготовленных материалов;

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Tsench Yu.S.– scientific guidance, writing materials and methods; data processing;

Godlevskaya E.V. – analysis of the results of the prepared materials;

All the authors have read and approved the final manuscript.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-25-31 УДК 681.518.5

ДИАГНОСТИКА ДВС, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ СЛУЖБЕ АПК

Юрий Владимирович Катаев, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: ykataev@mail.ru;
Валерий Сергеевич Герасимов, ведущий специалист;
Игорь Александрович Тишанинов, инженер;
Евгений Анатольевич Градов, ведущий специалист
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация

Реферат. *В работе представили тенденции развития технической диагностики в инженерной службе агропромышленного комплекса, наиболее перспективные направления ее развития. (Цель исследования) Проанализировать состояние современной технической диагностики в инженерной службе агропромышленного комплекса, рассмотреть разработки новых способов и технических средств диагностики, базирующихся на компьютерных, информационных технологиях. (Материалы и методы) Применили современные информационные технологии, автоматизированные системы контроля и управления. Определили, что расширение номенклатуры приборов и оборудования для получения объективной информации о эксплуатационной надежности двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной сельскохозяйственной техники позволяет проводить комплексные исследования по данному перспективному направлению – технической диагностике. (Результаты и обсуждение) Использовали комплексный подход при проведении исследований в части разработки методов бесконтактной диагностики, оценки уровня технического обслуживания с использованием указанного метода диагностики, анализа способов бесконтактной диагностики, позволяющих реагировать на выходные сигналы неисправностей элементов двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной сельскохозяйственной техники. Установили, что бесконтактная диагностика двигателей внутреннего сгорания позволяет в 1,5 и более раз уменьшить число отказов, увеличить в 1,2-1,5 раза межремонтный технический ресурс, снизить на 15-20 процентов затраты на техническое обслуживание, 12-15 – расход топлива и на 10-12 процентов повысить долговечность деталей. (Выводы) Проведенные в данной работе исследования формируют научные основы эффективного использования бесконтактной диагностики. Внедрение данного способа технической диагностики двигателей внутреннего сгорания позволяет сократить эксплуатационные издержки сельхозтоваропроизводителей на 12-15 процентов за счет фактически использованного ресурса, обеспечить сокращение числа ремонтов и уменьшение объемов закупаемых запасных частей.*

Ключевые слова: *диагностика, исследование, сельскохозяйственная техника, информационные технологии, работоспособность, остаточный ресурс.*

Для цитирования: *Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Диагностика ДВС, состояние и перспективы развития в инженерной службе АПК // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 25-31. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-25-31. DTVPMD.*

DIAGNOSTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES, STATE AND PROSPECTS IN THE ENGINEERING SERVICE OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Yuriy V. Kataev, Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher;
Valeriy S. Gerasimov, leading specialist;
Igor' A. Tishaninov, engineer;
Evgeniy A. Gradov, leading specialist
Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow Russian Federation

Abstract. *The paper presents the trends in the development of technical diagnostics in the engineering service of the agro-industrial complex, the most promising areas of its development. (Research purpose) The research purpose is analyzing the state of modern technical diagnostics in the engineering service of the agro-industrial complex, considering the development of new methods and technical diagnostic tools based on computer and information technologies. (Materials and methods) Modern information technologies, automated control and management systems were used during the research. The expansion of the range of devices and equipment to collect and proceed the information about the operational reliability of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery allows for comprehensive research in the technical diagnostic. (Results and discussion) Authors used the integrated approach when conducting research in terms of developing methods of contactless diagnostics, assessing the level of maintenance using this diagnostic method, analyzing methods of contactless diagnostics that allow us to respond to the output signals of malfunctions of internal combustion engine components. Contactless diagnostics of internal combustion engines can reduce the number of failures by 1.5 or more times, increase the repair service life by 1.2-1.5 times, reduce maintenance costs by 15-20 percent, reduce fuel consumption by 12-15 percent and increase the durability of parts by 10-12 percent. (Conclusions) The research forms the scientific basis for the effective use of contactless diagnostics. The introduction of this method of technical diagnostics of internal combustion engines makes it possible to reduce the operating costs of agricultural producers by 12-15 percent due to the economical using of resources, to ensure a reduction in the number of repairs and a reduction in the number of spare parts purchased.*

Keywords: *diagnostics, research, agricultural machinery, information technology, performance, residual life.*

For citation: *Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Diagnostika DVS, sostoyaniye i perspektivy razvitiya v inzhenernoy sluzhbe APK [Diagnostics of internal combustion engines, state and prospects in the engineering service of the agro-industrial complex]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 25-31 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-25-31. DTVPMD.*

Введение. Развитие информационных технологий дает возможность более детально исследовать происходящие процессы в переходном режиме и применять новые, более совершенные средства математической обработки информации, полученной с использованием бесконтактной диагностики (БД), в условиях эксплуатации энергонасыщенной сельскохозяйственной техники (СХТ) [1].

Использование цифровых систем при реализации процессов БД сило-

вых установок энергонасыщенной СХТ становится настоятельной необходимостью, так как повышается технический уровень электронных средств контроля и управления сложной мобильной СХТ. На энергонасыщенной СХТ (тракторы, комбайны) последних поколений применяются терминалы, базирующиеся на *GPS* и *USOBUS* и поддерживающиеся современным программным обеспечением, однако практическая реализация использования всех инновационных методов при техническом диагностировании машин в АПК остается еще на низком уровне [2, 3].

Современный способ диагностирования ДВС с использованием информационных технологий представлен на *рисунке 1.*

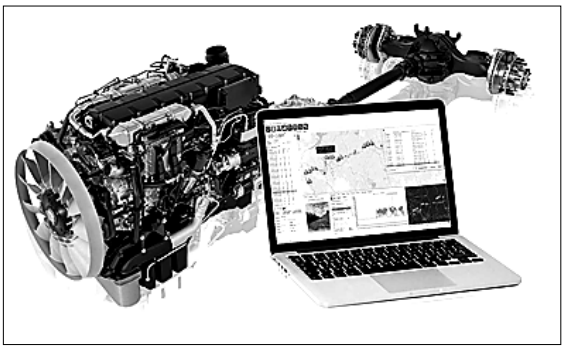


Рис. 1. Фрагмент рабочего процесса диагностирования ДВС

Цель исследования – проанализировать состояние современной технической диагностики в инженерной службе агропромышленного комплекса, рассмотреть разработки новых способов и технических средств диагностики, базирующихся на компьютерных, информационных технологиях.

Материалы и методы. В основу современной технической диагностики энергонасыщенной СХТ можно положить развитие информационных технологий, что дает возможность более детально исследовать происходящие процессы в переходном режиме и применять инновационные методы и средства математической обработки информации, полученной с использованием БД энергонасыщенной СХТ [4].

Следует отметить, что полученные информационные потоки могут стать основанием для создания алгоритма и технологий БД, что представляет собой актуальную задачу инженерной службы АПК на сегодняшний день [5-8].

Повышение уровня работоспособности ДВС энергонасыщенной СХТ, заключающееся в улучшении показателей надежности, топливной экономичности, экологичности и снижении затрат на техническое обслуживание и ремонт, имеет первостепенное значение.

Внедрение электронной техники в конструкцию ДВС и инновационные технологические процессы технического обслуживания и ремонта дают значительный эффект в обеспечении надежности ДВС энергонасыщенной техники. Современная концепция использования электронных устройств для определения технического состояния узлов и агрегатов трактора, в том числе и ДВС представлена на *рисунке 2.* Крайне важными факторами необходимости совершенствования современной технической диагностики ДВС энергонасыщенной СХТ служат контроль и своевременное выявление отказов техники в процессе эксплуатации [9, 10].

Обобщенные зависимости количества отказов II и III групп сложности, выраженные расходом запасных частей от наработки для новых тракторов К-744 Р2 и *Buhler-Versatile* 2375, приведены на *рисунке 3.*

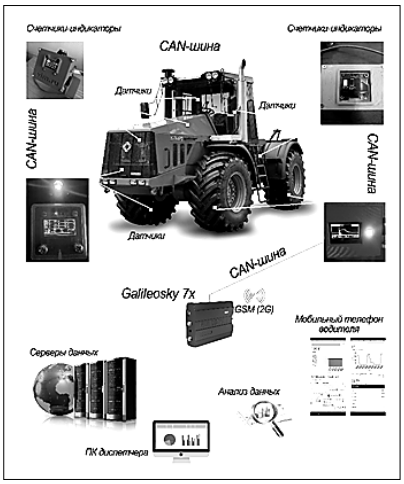


Рис. 2. Вариант использования электронных интеллектуальных счетчиков-индикаторов технического состояния сельскохозяйственных мобильных энергетических средств

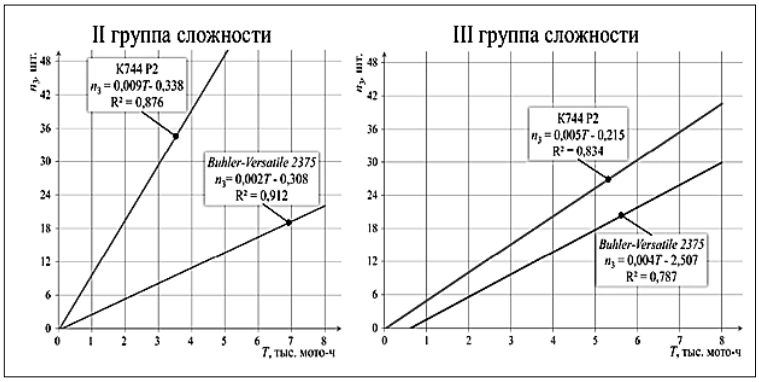


Рис. 3. Зависимости количества отказов II и III групп сложности, выраженные расходом запасных частей для тракторов -744 P2 и Buhler-Versatile 2375

Взаимосвязь количества запасных частей, израсходованных на устранение последствий отказов I-III групп сложности с их ценой представлена на *рисунке 4*. Из анализа взаимосвязей, показанных на *рисунках 3, 4,* следует, что увеличение затрат на запасные части вызвано увеличением интенсивности отказов на единицу наработки.

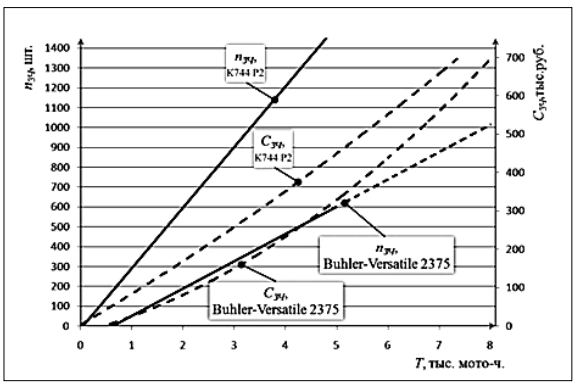


Рис. 4. Изменение количества запасных частей израсходованных на устранение последствий отказов и затрат на их приобретение в зависимости от наработки тракторов

Таким образом, снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт и повышение уровня работоспособности ДВС в значительной степени способствует комплексный подход к разработке методов, средств и технологий диагностирования и автоматизированных управляющих систем на базе микропроцессорной техники с минимальными требованиями к контролепригодности ДВС. К такому виду технического обслуживания техники можно уверенно отнести БД.

Сдерживающим фактором решения проблемы повышения качества управления техническим состоянием элементов ДВС энергонасыщенной СХТ служит отсутствие или низкая эффективность имеющегося диагностического оборудования.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ и обобщение результатов научных и экспериментальных материалов показали, что БД ДВС позволяет в 1,5 и более раз уменьшить число отказов, увеличить в 1,2-1,5 раза межремонтный технический ресурс, снизить на 15-20% затраты на техническое обслуживание, на 12-15 – расход топлива и на 10-12% повысить долговечность деталей ДВС. Диагностирование работающего двигателя энергонасыщенной СХТ с использованием БД в целом выполняют по эффективной мощности, удельному расходу топлива, составу выхлопных газов и акустическим признакам. По значению контролирующих параметров прогнозируют работоспособность ДВС на объекте и соответственно при предельных или при значениях остаточного ресурса менее наработки до ТО-1 диагностируют его системы [11].

Как показал проведенный авторами анализ, состояние средств и методов использования БД ДВС при разработке таких систем необходимо учитывать следующие приоритетные особенности:

- создание базы данных для диагностируемого объекта (ДВС);
- диагностика ДВС и его элементов без его демонтажа;
- оценка основных показателей ДВС;
- диагностика в автоматизированном режиме;
- дальнейшее развитие БД.

Выводы. Внедрение БД как интеллектуального элемента в диагностической системе инженерной службы АПК значительно сокращает время устранения отказов; модульная основа БД позволяет диагностировать как отдельные элементы ДВС, так и все объекты в целом.

Данный подход предоставляет возможность логически организовать дальнейшее развитие системы БД путем модернизации каждого элемента независимо друг от друга. В такой системе возможны сложные диагностические алгоритмы, дающие исчерпывающую диагностическую информацию по состоянию конкретного объекта (в нашем случае ДВС энергонасыщенной СХТ).

Библиографический список

1. Федоренко В.Ф., Голубев И.Г. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2018. 140 с.

2. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // Сельский механизатор. 2016. N8. С. 2-5.

3. Михлин В.М., Дарер А.Г. Ресурсосберегающий метод определения допустимых износов, изменений параметров при техническом обслуживании и ремонте машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. N1. С. 20-21.

4. Гуляренко А.А. Методика сбора информации при эксплуатационных испытаниях тракторов на надежность // Вестник ЧГАУ. 2009. Т. 54. С. 103-106.

5. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А. Использование систем бесконтактной диагностики при техническом обслуживании энергонасыщенной сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. N2(147). С. 60-66.

6. Катаев Ю.В., Степанов М.В., Градов Е.А. Онлайн-мониторинг параметров технического состояния тракторов // Сельский механизатор. 2021. N4. С. 32-34.

7. Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А., Мишина З.Н., Елизаров П.А. Задачи инженерных служб АПК по развитию сельскохозяйственного производства // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 19-28.

8. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. N2(102). С. 45-50.

9. Плаксин А.М., Гуляренко А.А. Сравнение показателей надежности тракторов отечественного и импортного производства в условиях рядовой эксплуатации // Вестник ЧГАА. 2010. Т. 57. С. 126-132.

10. Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Аграрный научный журнал. 2022. N2. С. 79-82.

11. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Баулин Н.К., Тишанинов И.А., Филиппов С.А. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. N2(147). С. 51-59.

References

1. Fedorenko V.F., Golubev I.G. Perspektivy primeneniya additivnykh tekhnologiy pri proizvodstve i tekhnicheskom servise sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Prospects for the application of additive technologies in the production and technical service of agricultural machinery]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 140 (In Russian).

2. Dorokhov A.S., Korneyev V.M., Katayev Yu.V. Tekhnicheskiy servis v sisteme inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya APK [Technical service in the system of engineering and technical support of the agro-industrial complex]. Sel'skiy mekhanizator. 2016. N8. 2-5 (In Russian).

3. Mikhlin V.M., Darer A.G. Resursosberegayushchiy metod opredeleniya dopustimykh iznosov, izmeneniy parametrov pri tekhnicheskom obsluzhivanii i remonte mashin [Resource-saving method for determining permissible wear and changes in parameters during maintenance and repair of machines]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2007. N1. 20-21 (In Russian).

4. Gulyarenko A.A. Metodika sbora informatsii pri ekspluatatsionnykh ispytaniyakh traktorov na nadezhnost' [Methods of collecting information during operational tests of tractors for reliability]. Vestnik ChGAU. 2009. Vol. 54. 103-106 (In Russian).

5. Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A. Ispol'zovaniye sistem beskontaktnoy diagnostiki pri tekhnicheskom obsluzhivanii energonasyshchennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The use of contactless diagnostic systems in the maintenance of energy-saturated agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. N2(147). 60-66 (In Russian).

6. Katayev Yu.V., Stepanov M.V., Gradov E.A. Onlayn-monitoring parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov [Online monitoring of tractor technical parameters]. Sel'skiy mekhanizator. 2021. N4. 32-34 (In Russian).

7. Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buryakov S.A., Mishina Z.N., Elizarov P.A. Zadachi inzhenernykh sluzhb APK po razvitiyu sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Tasks of agricultural engineering services for the development of agricultural production]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 19-28 (In Russian).

8. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Katayev Yu.V. Intellektual'naya sistema diagnostirovaniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Intelligent system for diagnosing parameters of the technical condition of agricultural machinery]. Agroinzheneriya. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian).

9. Plaksin A.M., Gulyarenko A.A. Sravneniye pokazateley nadezhnosti traktorov otechestvennogo i importnogo proizvodstva v usloviyakh ryadovoy ekspluatatsii [Comparison of reliability indicators of tractors of domestic and imported production in the conditions of common operation]. Vestnik ChGAA. 2010. Vol. 57. 126-132 (In Russian).

10. Katayev Yu.V., Zagoruyko M.G., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Prognozirovaniye otkazov v dvigatelyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s primeneniyem tsifrovykh tekhnologiy [Prediction of failures in agricultural machinery engines using digital technologies]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2022. N2. 79-82 (In Russian).

11. Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Baulin N.K., Tishaninov I.A., Filippov S.A. Tekhnicheskoye soprovozhdeniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Technical support of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. N2(147). 51-59 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Катаев Ю.В. – научное руководство, подготовка материалов и методов;
Герасимов В.С. – анализ результатов подготовленных материалов;
Тишанинов И.А. – обработка данных;
Градов Е.А. – получение исходной информации.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kataev Yu.V. – scientific guidance, writing materials and methods;
Gerasimov V.S. – analysis of the results of the prepared materials;
Tishaninov I.A. – data processing;
Gradov E.A. – obtaining initial information.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39 УДК 681.518.5

Бесконтактная диагностика определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной сельскохозяйственной техники

Евгений Анатольевич Градов, младший научный сотрудник,
e-mail: egradov82@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *В работе раскрыли возможности использования бесконтактной диагностики для получения цифровых данных, полученных по локальной сети контроллеров шины CAN трактора. (Цель исследования) Провести анализ определения номенклатуры показателей эксплуатационно-технических характеристик двигателя внутреннего сгорания тракторной техники и создать современные технологии диагностики и контроля технического состояния тракторной техники. (Материалы и методы) Отметили, что диагностирование энергонасыщенной сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны), проводимое с использованием внешних и встроенных средств контроля, позволяет определять техническое состояние двигателей внутреннего сгорания без разборки, прогнозировать сроки службы их деталей, фактически управлять техническим состоянием двигателя машины. Показали, что большое внимание в инженерной службе агропромышленного комплекса оказывают техническому диагностированию, связанному с предупреждением отказов важнейших узлов и агрегатов энергонасыщенной сельскохозяйственной техники. Определили, что реализация данных операций положительно сказывается на сроках выполнения сельскохозяйственных работ, получении дополнительного объема сельскохозяйственной продукции. Для каждой диагностируемой машины (трактора) должны быть установлены нормативные показатели исправности (работоспособности) при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. (Результаты и обсуждение) Выявили, что использование бесконтактной диагностики обеспечивает своевременное обнаружение и устранение значительных неисправностей в системах питания или зажигания двигателей, агрегатов трансмиссии или ходовой части; улучшает на 5-10 процентов топливо-экономические показатели; мощность двигателей в 2-3 раза; экологические показатели; повышает безопасность эксплуатации машины. (Выводы) В процессе проведенных исследований определили функциональные возможности диагностических приборов с расширенными возможностями сбора информации – универсального USB адаптера CAN шины.*

Ключевые слова: *трактор, бесконтактная диагностика, техническое обслуживание, ремонт, цифровые данные, CAN-шина, двигатель внутреннего сгорания.*

Для цитирования: *Градов Е.А. Бесконтактная диагностика определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания энергонасыщеной сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 32-39. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. CCWBKW.*

The contactless diagnostics to determine the technical condition of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery

Evgeniy A. Gradov, junior researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *The paper revealed the possibilities of using contactless diagnostics to obtain digital data obtained over the local network of tractor CAN bus controllers. (Research purpose) The research purpose is analyzing of the nomenclature of indicators of the operational and technical characteristics of the internal combustion engine of tractor equipment and creating modern technologies for diagnostics and control of the technical condition of tractor equipment. (Materials and methods) It was noted that the diagnosis of energy-saturated agricultural machinery (tractors, combines), carried out using external and built-in controls, allows you to determine the technical condition of internal combustion engines without disassembly, predict the service life of their parts, actually manage the technical condition of the engine of the machine. It has been shown that the engineering service of the agro-industrial complex pays great attention to technical diagnostics related to the prevention of failures of the most important components and aggregates of energy-saturated agricultural machinery. It was determined that the performance of these operations has a positive effect on the timing of agricultural work, obtaining an additional volume of agricultural products. For each diagnosed machine (tractor), normative indicators of serviceability (operability) during operation, maintenance and repair must be established. (Results and discussion) It was revealed that the use of contactless diagnostics provides timely detection and elimination of significant malfunctions in the power or ignition systems of engines, transmission units or chassis, improves fuel and economic indicators by 5-10 percent, engine power by 2-3 times, improves environmental performance, increases the safety of machine operation. (Conclusions) In the course of the conducted research, the functionality of diagnostic devices with advanced information collection capabilities – a universal USB CAN bus adapter-was determined.*

Keywords: *tractor, contactless diagnostics, maintenance, repair, digital data, CAN bus, internal combustion engine.*

For citation: *Gradov E.A. Beskontaktnaya diagnostika opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya energonasyshchenoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The contactless diagnostics to determine the technical condition of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 32-39 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. CCWBKW.*

Введение. Конец XX – начало XXI в. считается периодом Четвертой технической революции, которая получила название Индустрия 4.0 [1].

Это Индустрия охватывает все сферы деятельности народного хозяйства страны и базируется на использовании новых информационно-коммуникационных технологий, основанных на цифровизации практически всех технологических процессов в отраслях, в том числе в сельском хозяйстве. До настоящего времени в инженерной сфере АПК еще очень слабо используются инновационные технологии при техническом сопровождении сельскохозяйственной техники [2-5].

В течение жизненного цикла энергонасыщенной сельскохозяйственной техники (СХТ) (трактор, комбайн), входящим в нее элементам приходится постоянно взаимодействовать со многими прикладными системами, причем почти каждая из них имеет собственный формат представления данных. Для решения проблемы взаимодействия необходимо применять стандартизованные интерфейсы взаимодействия, включающие форматы представления данных об изделии, а также процедуры взаимодействия системы изделия и прикладных систем. Таким образом, технологии интеграции данных обеспечивают создание единого информационного пространства, включающего хранилище данных на протяжении всего жизненного цикла продукции, которое пользователь использует при выполнении целого ряда функций, связанных с техническим сопровождением: управление хранением данных и документов; управление процессами; управление структурой продукции; календарное планирование; управление (мониторинг) процессами эксплуатации и ресурсом систем и узлов изделия для обеспечения обоснованности последующих управленческих решений.

Для устранения имеющегося отставания в использовании информационных технологий производителям отечественной продукции, эксплуатирующим предприятия и проводящим утилизацию техники, необходимо интенсифицировать процесс перехода на цифровые технологии, приобрести и освоить информационные и коммуникационные технологии.

Цель исследования – провести анализ определения номенклатуры показателей эксплуатационно-технических характеристик двигателя внутреннего сгорания тракторной техники и создать современные технологии диагностики и контроля технического состояния тракторной техники.

Материалы и методы. В процессе разработки мероприятий по обеспечению контрольно-измерительным оборудованием для получения данных по локальной сети контроллеров (шины *CAN*) трактора *John Deere* 7830 использовали различные диагностические приборы и сканеры.

Подключили к трактору диагностическое оборудование *John Deere Service Advisor*, которое предназначено для диагностики неисправностей при проведении сервисного обслуживания, корректировки сервисных параметров различной техники производства компании *John Deere*.

Сканер позволяет провести максимально подробную диагностику всех систем управления; настройку, калибровку или адаптацию блоков; запрограммировать определенные параметры и выполнить другие важные операции.

В перечень функциональных возможностей прибора входят: диагностика всех систем; чтение, расшифровка и удаление кодов ошибок; активация реле и механизмов; отображение информации с датчиков; программирование блоков управления; настройка и калибровка систем; проведение интерактивных тестов; внесение изменений в сервисные параметры.

В результате проведенных работ с помощью диагностического устройства получили опытные данные, характеризующие работу двигателя трактора *John Deere* 7830 в режиме реального времени [6, 7].

Для извлечения цифровой информации обмена данными между ЭБУ в процессе проведения экспериментальных работ параллельно подключили разрабатываемый универсальный *USB* адаптер *CAN* шины [8, 9]. Полученные данные представили в виде списка операций, проводимых в процессе компьютерной диагностики всех систем трактора *John Deere* 7830.

Универсальный программируемый бортовой контроллер *CAN-WAY* компании «Фарватер» предназначен для постоянного наблюдения за энергонасыщенными средствами, оборудованными шиной *CAN*, с целью определения

с помощью системы позиционирования *ГЛОНАСС/GPS* их местоположения, направления перемещения, скорости, а также контроля технических и эксплуатационных параметров рассматриваемой техники. Информация сохраняется в памяти устройства и передается на телематический сервер за счет сетей сотовой связи. Наличие энергонезависимой памяти в таких устройствах дает возможность проводить непрерывный контроль техники даже при ее длительной эксплуатации в местах без доступа к связи.

CAN-WAY по считыванию информации с шины *CAN* предназначен для установки на энергонасыщенную сельскохозяйственную технику, строительную, специальную и другие виды техники без ограничения (*рис. 1*) [7-9].

Рис. 1. Универсальный программируемый бортовой контроллер CAN-WAY

Исходная номенклатура контролируемых параметров, передаваемых по последовательному интерфейсу *CAN* от различных узлов машины, представлена в *таблице*.

Таблица

Контролируемые параметры, используемые в высокотехнологичных системах диагностики

Контролируемые показатели	**От какого структурного параметра зависит**	**Возможность использования для расчета показателей надежности**
Наработка двигателя в моточасах	-	Да
Активные и сохраненные коды неисправностей	-	Нет
Частота вращения к.в. ДВС	-	Нет
Нагрузка двигателя (%)	-	Нет
Доля от максимальной нагрузки при данной частоте вращения	-	Нет
Уровень масла в двигателе	Зазоры в ЦПГ ДВС	Да
Уровень охлаждающей жидкости	Герметичность	Нет
Давление масла в ГММ	Зазоры в КШМ	Да
Давление ОЖ в системе охлаждения	-	Нет
Температура охлаждающей жидкости	-	Нет
Температура топлива	-	Нет
Температура масла в системе смазки	-	Нет
Температура наддувочного воздуха	-	Нет
Температура воздуха во впускном коллекторе	-	Нет

CAN-WAY позволяет дополнительно записывать параметры сельскохозяйственной техники, такие как убранная площадь, производительность, количество собранного урожая, влажность зерна и др.

В качестве дополнительных функциональных возможностей осуществляется подключение фотокамеры к терминалу *CAN-WAY* для получения необходимых снимков через установленные промежутки времени, а также динамики и микрофоны для поддержания голосовой связи с водителем энергонасыщенного средства при эксплуатации. Работа данной системы в дальнейшем будет представлена на примере эксплуатации трактора *John Deere* 7830 в производственных условиях, на котором установлен универсальный программируемый бортовой контроллер *CAN-WAY*, предназначенный для мониторинга транспортных средств с возможностью чтения и управления функциями автотракторной техники посредством приема или передачи информации в шине *CAN*.

Результаты и обсуждение. Для разработки и внедрения полноценной системы необходимо получить, расшифровать, обработать поток данных, передаваемых по шине *CAN* [10-13]. Данная система позволит реализовать:

- дистанционный сбор данных о работе сельскохозяйственной техники, включая работу навесных агрегатов;
- сбор данных о передвижении сельскохозяйственной техники (привязанной к картам местности, траектории движения с указанием времени, скорости движения, простоев);
- обратную связь с оборудованием системы, установленным на сельскохозяйственной технике, с возможностью дистанционного управления отдельными функциями;
- верификацию и разграничение полномочий в системе водителя (оператора), диспетчера, пользователя данных, а также специалиста удаленной сервисной службы;
- контроль за соблюдением эксплуатационных, технических, технологических и логистических параметров работы сельскохозяйственной техники (включая навесное оборудование) и индикацию (текстовую, световую, голосовую) превышения критических значений таких параметров с оповещением всех (выбранных) участников работы системы;
- возможность проведения инициативного удаленного технического осмотра и диагностики сельскохозяйственной техники специалистами сервисной службы без остановки выполнения технологических операций.

Установка бортового терминала *CAN-WAY* на трактор *John Deere* 7830, *sim*-карты, регистрация в приложении по идентификационному номеру, проверка работы всех систем, крепление контроллера в монтажном блоке показаны на *рисунках 2, 3*.

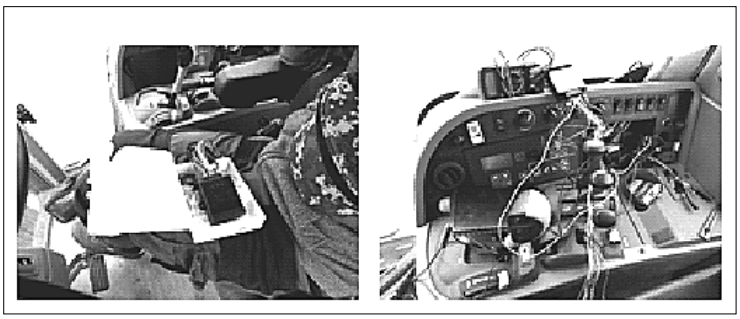


Рис. 2. Установка универсального программируемого бортового контроллера CAN-WAY к средствам подключения к шине CAN (CAN-L, CAN-H) трактора John Deere 7830

Рис. 3. Установка sim-карты, регистрация и проверка работы всех систем

Таким образом, в структуру основных задач бесконтактного диагностирования по дистанционному сбору данных о техническом состоянии энергонасыщенной сельскохозяйственной техники входят:

- проверка исправности (работоспособности) трактора или его составных элементов с высокой достоверностью;
- поиск дефектов с установленной глубиной поиска;
- сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса составных частей;
- выдача рекомендаций по результатам диагностирования, а также вынос решения о сроке и месте ремонтно-обслуживающих работ.

Выводы. В процессе проведенных исследований выявления функциональных возможностей существующих диагностических приборов и реализованных функций универсального программируемого бортового контроллера определили необходимость разработки диагностического оборудования с расширенными возможностями сбора информации – универсального *USB* адаптера *CAN* шины.

Внедрение цифровых систем мониторинга технического состояния СХТ в инженерной структуре АПК позволит сельхозтоваропроизводителям резко увеличить уровень технической готовности СХТ. По экспертным оценкам, во многих агрохозяйствах уровень технической готовности СХТ составляет 75-80%, что сопоставимо с показателями в целом по АПК России.

Внедрение инновационных диагностических технологий позволит увеличить этот показатель на 10-12%, а выход конечной сельскохозяйственной продукции на 5-7%.

Библиографический список

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо. 2016. 138 с. (Top Business Awards)

2. Катаев Ю.В., Градов Е.А., Тишанинов И.А. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники через онлайн мониторинг параметров // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2022. N1. С. 14-19.

3. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. N11(281). С. 39-43.

4. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. N2(102). С. 45-50.

5. Денисов В.А., Катаев Ю.В., Герасимов В.С. и др. Проблемы и пути развития инженерно-технической системы АПК. М: ИП Дубасова Ю.Г. 2022. 236 с.

6. Совин К.Г. Технологические процессы обмена данными между электронными блоками управления (ЭБУ) по CAN-шине трактора // Сельскохозяйственная тех-

ника: обслуживание и ремонт. 2019. N5. С. 60-67.

7. Совин К.Г., Костомахин М.Н. Взаимодействие ДВС, КПП и ходовой части по средству обмена цифровыми данными в основном канале на примере трактора JOHN DEERE 7830 // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N10. С. 57-66.

8. Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // Аграрный научный журнал. 2022. N2. С. 79-82.

9. Совин К.Г. Обмен данными в автотракторной технике по CAN-шине на основе протокола SAE J1939 и FMS-Standard // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. N6. С. 60-65.

10. Дорохов А.С. Компьютерное зрение как инструмент системы управления технологическими процессами // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России : Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 355-357.

11. Дорохов А.С., Семейкин В.А. Входной контроль качества продукции машиностроения // Сельский механизатор. 2013. N11. С. 22-23.

12. Дорохов А.С., Бесконтактный контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники //Вестник МГАУ В.П. Горячкина. 2010.N2. С.73-75.

13. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства //Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т.15. N4. С. 6-10.

References

1. Shvab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya [The Fourth Industrial Revolution]. Moscow: Eksmo. 2016. 138. (Top Business Awards) (In Russian).

2. Katayev Yu.V., Gradov E.A., Tishaninov I.A. Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki cherez onlayn monitoring parametrov [Control of the technical condition of agricultural machinery through online monitoring of parameters]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2022. N1. 14-19 (In Russian).

3. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Katayev Yu.V. Tendentsii razvitiya tsifrovykh tekhnologiy diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov [Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2020. N11(281). 39-43 (In Russian).

4. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Katayev Yu.V. Intellektual'naya sistema diagnostirovaniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Intelligent system for diagnosing parameters of the technical condition of agricultural machinery]. Agroinzheneriya. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian).

5. Denisov V.A., Katayev Yu.V., Gerasimov V.S. et al. Problemy i puti razvitiya inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy APK [Problems and ways of development of the agro-industrial complex engineering and technical system]. Moscow: IP Dubasova Yu.G. 2022. 236 (In Russian).

6. Sovin K.G. Tekhnologicheskiye protsessy obmena dannymi mezhdu elektronnymi blokami upravleniya (EBU) po CAN-shine traktora [Technological processes of data exchange between electronic control units (ECUs) via the tractor CAN bus]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2019. N5. 60-67 (In Russian).

7. Sovin K.G., Kostomakhin M.N. Vzaimodeystviye DVS, KPP i khodovoy chasti po sredstvu obmena tsifrovymi dannymi v osnovnom kanale na primere traktora JOHN DEERE 7830 [Interaction of the internal combustion engine, gearbox and chassis by

means of digital data exchange in the main channel on the example of the JOHN DEERE 7830 tractor]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2018. N10. 57-66 (In Russian).

8. Katayev Yu.V., Zagoruyko M.G., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Prognozirovaniye otkazov v dvigatelyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s primeneniyem tsifrovykh tekhnologiy [Prediction of failures in agricultural machinery engines using digital technologies]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2022. N2. 79-82 (In Russian).

9. Sovin K.G. Obmen dannymi v avtotraktornoy tekhnike po CAN-shine na osnove protokola SAE J1939 i FMS-Standard [Data exchange in automotive equipment via CAN bus based on SAE J1939 protocol and FMS-Standard]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2019. N6. 60-65 (In Russian).

10. Dorokhov A.S. Komp'yuternoe zrenie kak instrument sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Computer vision as a tool of the process control system]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoy mekhaniki V.P. Goryachkina. Moscow: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. 2013. 355-357 (In Russian).

11. Dorokhov A.S., Semeykin V.A. Vkhodnoy kontrol' kachestva produktsii mashinostroeniya [Input quality control of mechanical engineering products]. Sel'skiy mekhanizator. 2013. N11. 22-23 (In Russian).

12. Dorokhov A.S., Beskontaktnyy kontrol' kachestva zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Contactless quality control of agricultural machinery spare parts].Vestnik MGAU V.P. Goryachkina. 2010.N2. 73-75. (In Russian).

13. Lobachevskiy YA.P., Dorokhov A.S., TSifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo khozyaystva [Digital technologies and robotic technical means for agriculture]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2021. T.15. N4. 6-10 (In Russian).

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
The author have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-40-47 УДК 658.562.1

Рециклинг бронзовых отходов машиностроительных производств

Илья Владимирович Романов, младший научный сотрудник;
Роман Николаевич Задорожний, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Елизавета Юрьевна Кудряшова, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: gosniti1953@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Использование вторичных металлов имеет важнейшее значение, поскольку затраты на вовлечение металлоотходов в оборот значительно меньше, чем на выплавку первичного металла из руды. Рециклинг лома цветных металлов, в том числе бронзы, особенно актуален из-за высокой стоимости сырья. Все применяемые на сегодняшний день способы переработки металлолома очень энергоемкие, поэтому актуален поиск новых технологий. (Цель исследования) Изучить современные методы переработки отходов цветных металлов и сплавов машиностроительных производств, выявить проблемы и недостатки таких методов; доказать целесообразность применения электроэрозионного диспергирования в процессах рециклинга металлического лома. (Материалы и методы) Использовали комплексный подход, который включал анализ литературных и патентных источников, научных работ. Исследования проводили на лабораторном оборудовании Нано-центра ФНАЦ ВИМ. (Результаты и обсуждение) Изучили различные способы переработки машиностроительных отходов цветных металлов и сплавов, выявили недостатки данных способов, предложили в качестве перспективного метод электроэрозионного диспергирования. Определили, что в современном ремонтном производстве для восстановления работоспособности изношенных деталей в более 60 процентов случаев используют сварочно-наплавочные процессы. Наплавка позволяет проводить легирование, управлять твердостью и микроструктурой наплавляемого слоя. Порошковые материалы для технологий восстановления и упрочнения деталей экономически более выгодны, поскольку изготовление проволоки или прутков из твердых и хрупких материалов требует дорогостоящих специальных способов. (Выводы) Переработка металлических отходов, особенно цветных металлов и сплавов, дает ощутимый экономический эффект для экономики. Применение новых перспективных технологий помогает снизить энергоемкость процессов рециклинга.*

Ключевые слова: *утилизация, рециклинг, переработка, бронзовые отходы, машиностроение.*

Для цитирования: *Романов И.В., Задорожний Р.Н., Кудряшова Е.Ю. Рециклинг бронзовых отходов машиностроительных производств // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 40-47. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-40-47. BCCGRG.*

Recycling of bronze waste in machine-building industry

Il'ya V. Romanov, junior researcher;
Roman N. Zadorozhniy, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Elizaveta Yu. Kudryashova, Ph.D.(Eng.), research assistant
Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The use of secondary metals is of crucial importance, since the costs of involving metal waste into circulation are significantly less than for smelting primary metal from ore. Recycling of non-ferrous metal scrap, including bronze, is especially relevant due to the high cost of raw materials. All the methods of scrap metal processing used today are very energy-intensive, so the search for new technologies is relevant. (Research purpose) The research purpose is studying modern methods of processing waste of non-ferrous metals and alloys in machine-building industries, identifying problems and disadvantages of such methods; proving the expediency of the use of electroerosive dispersion in the recycling of scrap metal. (Materials and methods) Used an integrated approach, which included the analysis of literary and patent sources, scientific papers. The research was carried out on laboratory equipment of the FNAC VIM Nano-Center. (Results and discussion) We studied various methods of processing machine-building waste of non-ferrous metals and alloys, identified the disadvantages of these methods, and proposed an electroerosive dispersion method as a promising one. It was determined that in modern repair production, welding and surfacing processes are used in more than 60 percent of cases to restore the operability of worn parts. Surfacing allows alloying, controlling the hardness and microstructure of the deposited layer. Powder materials for the technologies of restoration and hardening of parts are economically more profitable, since the manufacture of wire or rods from hard and brittle materials requires expensive special methods. (Conclusions) Recycling of metal waste, especially non-ferrous metals and alloys, gives a tangible economic effect for the economy. The use of new promising technologies helps to reduce the energy intensity of recycling processes.*

Keywords: *utilization, recycling, processing, bronze waste, mechanical engineering.*

For citation: *Romanov I.V., Zadorozhniy R.N., Kudryashova E.Yu. Retsikling bronzovykh otkhodov mashinostroitel'nykh proizvodstv [Recycling of bronze waste in machine-building industry]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 40-47 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-40-47. BCCGRG.*

Введение. Использование вторичных металлов имеет важнейшее значение, поскольку экономит природные ресурсы и общественный труд. Это связано с тем, что затраты на вовлечение металлоотходов в оборот значительно меньше, чем на выплавку первичного металла из руды. Очевидно, что переработка лома цветных металлов и черного металлолома имеет колоссальное значение не только с экономической, но и с экологической точки зрения. И с каждым годом актуальность переработки только возрастает, так как современное состояние индустриального развития общества характеризуется вовлечением в промышленный оборот огромного количества металла. В таких условиях переработка металлолома представляет собой необходимую меру, что признается большинством стран мира, где уже более сотни лет создаются и используются мощности по переработке металлических отходов.

Металлолом – это непригодные для использования изделия, которые утратили эксплуатационную ценность и содержат в себе цветные или черные металлы и их сплавы [1].

Металлолом может образовываться в процессе механической обработки при изготовлении новых деталей (стружка, вырубка и т.д.), а также при выбраковке деталей после ремонта техники или оборудования.

Образуемые в народном хозяйстве лом и отходы металлов подразделяются на оборотные, перерабатываемые в местах образования, и товарные, направляемые для переработки на другие предприятия. Максимальное вовлечение в переработку лома и отходов в местах образования служит основным направлением их рационального использования [2].

Цель исследования – изучить современные методы переработки отходов цветных металлов и сплавов машиностроительных производств, выявить проблемы и недостатки таких методов; доказать целесообразность применения электроэрозионного диспергирования в процессах рециклинга металлического лома.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи использовали комплексный подход, который включал анализ литературных и патентных источников. Также в работе было использовано следующее оборудование: лабораторная установка для электроэрозионного диспергирования, инвертированный металлографический микроскоп *Olympus GX*-51, анализатор размеров частиц *Microtrac Bluewave*, анализатор удельной поверхности модели *Autosorb*-1, электронно-ионный сканирующий микроскоп *QUANTA* 600 FEG, шкаф сушильный ШС-80-01 СПУ, набор сит по ГОСТ 2715-75, весы аналитические *Acculab ALC*-210d4.

Результаты и обсуждение. Традиционным металлургическим способом переработки всех металлических отходов служит их переплав. При этом извлекаются в готовую продукцию все ценные составляющие исходного сырья. Для получения кондиционных сплавов необходимо применение качественного вторичного сырья [3].

При производстве меди и сплавов на ее основе из вторичного сырья на отечественных и зарубежных заводах используют различные плавильные агрегаты: стационарные, поворотные и вращающиеся отражательные печи; дуговые электропечи, индукционные канальные и тигельные печи, шахтные и печи других типов. На отечественных предприятиях вторичной цветной металлургии выплавку оловянных бронз осуществляют в отражательных печах, безоловянных – в отражательных и индукционных канальных печах. Латуни получают в основном в индукционных печах и реже – в отражательных [4].

Перемешивание сплава в печи производят с помощью завалочной машины. Образующийся шлак скачивают через загрузочное окно в шлаковницу-отстойник; в последней происходит частичное отстаивание увлеченного шлаком сплава. Для удаления вредных примесей (железа, алюминия, кремния, сурьмы) загружают рафинирующий флюс, состав и количество которого определяют наличием примеси и ее количеством. По завершении рафинирования в печь вводят легирующие добавки (олово, свинец и др.) и ванну тщательно перемешивают для получения однородного сплава. Температуру металла перед разливом поддерживают на уровне 1100-1150 °С. При плавке расход условного топлива составляет 210-250 кг на 1 т готовой продукции [5].

Недостатки такого способа переработки заключаются в больших затратах электроэнергии или условного топлива, дорогостоящем оборудовании и обеспечении непрерывности процесса, потребности во флюсе и легиру-

ющих элементах, неизбежных потерях металла в процессе металлургического переплава. Также для осуществления процесса требуются большие объемы металлического лома, которые не всегда удается собрать вовремя.

Иным путем решения проблемы утилизации металлолома служит переработка его в металлический порошок и дальнейшее использование в порошковой металлургии. Существуют различные способы получения металлических порошков. Хорошо известен способ, основанный на механическом разрушении материала. Он реализован в широком спектре диспергирующего оборудования (мельницы, дробилки), отличается многообразием конструктивных решений принципов измельчения материала. Наибольшее распространение получили барабанные, вибрационные, молотковые, щековые и другие измельчители. Они обеспечивают измельчение материалов до необходимой дисперсности, но имеют высокий уровень динамических нагрузок, большую энергоемкость и длительность цикла измельчения. Для монтажа установок нужен мощный самостоятельный фундамент, для чего требуются специальные помещения, исключается возможность их установки на междуэтажных перекрытиях [6]. К тому же порошок, получаемый механическим способом, может загрязняться измельчающей средой (материалом помольных тел и футеровки мельницы), высока вероятность образования большого наклепа (особенно это характерно для мягких цветных металлов).

Более производительным и эффективным способом получения порошков металлов служит атомизация (распыление) расплавов металлов и сплавов. Атомизация – это двухступенчатый процесс. Во-первых, происходит движение жидкого металла и, во-вторых, застывание металлических капель.

Во всех процессах распыления начальная операция одинакова – металлический лом расплавляется в индукционной или газовой печи. Затем расплавленный металл подается в специальную камеру и разделяется на капли разными способами. При газовом распылении используют воздух, пар или инертный газ, которые подаются через специальные форсунки. При водном распылении расплавленный металл разделяют струями воды под давлением. Окисление расплава можно предотвратить, выполняя распыление в инертной атмосфере или герметизируя область вокруг сопла для струи воды камерой, заполненной инертным газом. Затем происходит остывание капель с образованием металлического порошка [7].

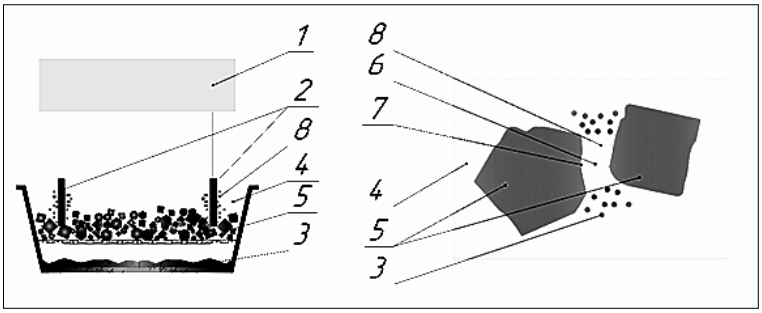
Недостатки метода атомизации во многом схожи с недостатками переплава металлического лома – большие затраты энергии и дорогостоящее оборудование. Кроме того, некоторые отдельные способы атомизации требуют предварительной подготовки расплавляемого металла – изготовление электродов или проволоки. Все это затрудняет переработку металлических отходов.

Наиболее перспективным методом получения металлических порошков из отходов машиностроения видится метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). При таком методе возможно получать порошки практически любых токопроводящих материалов в различных рабочих средах (вода дистиллированная, керосин, масло индустриальное, спирты и др.). Получаемые порошки имеют в основном сферические частицы размером от 0,01 до 100 мкм. Изменяя электрические параметры процесса диспергирования (напряжение на электродах и частоту следования импульсов), можно управлять шириной и смещением интервала размера частиц, а также производительностью процесса [8].

Процесс электроэрозионного диспергирования представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами, находящимися в рабочей жидкости (*рис.*).

Импульсное напряжение генератора 1 прикладывается к электродам 2 и 3 и далее к металлическому лому 6. В качестве электродов служат куски перерабатываемого лома. При достижении напряжения определенной величины происходит электрический пробой рабочей жидкости 5, находящейся в межэлектродном пространстве, с образованием канала разряда 7. Благодаря высокой концентрации тепловой энергии, материал в точке разряда 8 плавится и испаряется, рабочая жидкость испаряется и окружает канал разряда газообразными продуктами распада 9.

В результате развивающихся в канале разряда и продуктах распада рабочей жидкости значительных динамических сил, капли расплавленного материала 4 выбрасываются за пределы зоны разряда в рабочую жидкость, окружающую электроды, и застывают в ней, образуя каплеобразные частицы металла [9].



а *б*

Рис. Процесс ЭЭД: а – схема установки; б – схема процесса

Большими плюсами процесса в современных условиях являются довольно малые энергозатраты, а также высокий уровень ресурсосбережения. Отходы машиностроительных производств можно сразу загружать в реактор для переработки без предварительной подготовки, при этом электроды, требуемые для протекания процесса, изготавливаются из тех же отходов.

Что же касается выбраковываемых деталей, которые тоже представляют собой металлические отходы, то большинство из них целесообразно восстанавливать. Особенно это касается бронзовых деталей, цена которых довольно высока из-за стоимости цветных металлов.

В современном ремонтном производстве для восстановления работоспособности изношенных деталей в более 60% случаев используют сварочно-наплавочные процессы. Наплавка позволяет проводить легирование, управлять твердостью и микроструктурой наплавляемого слоя. Для повышения эксплуатационных свойств в технологию наплавки включают предшествующие, сопутствующие или последующие термообработки и упрочнения [10].

Некоторые твердые и хрупкие металлы и сплавы для технологий восстановления и упрочнения деталей, а также химические соединения, из которых обычными способами невозможно изготовить проволоку или пруток, могут поставляться в виде порошков. Порошковые материалы экономически более выгодны, поскольку изготовление проволоки или прутков из твердых и хрупких материалов требует дорогостоящих специальных способов. Практически любой напыляемый материал можно изготовить в виде порошка. За последние 10 лет было предложено большое количество технологий восстановления деталей с применением металлических порошков [11-15].

Выводы. Переработка металлических отходов, а особенно цветных металлов и сплавов, дает ощутимый экономический эффект. Однако традици-

онные способы переработки очень энергозатратны, поэтому в настоящее время актуальной становится задача поиска новых технологий переработки металлического лома. Одним из перспективных методов может стать электроэрозионное диспергирование. Порошки бронзы, получаемые данным методом можно использовать как для изготовления новых деталей, так и для восстановления изношенных, что в свою очередь помогает снизить затраты на эксплуатацию техники.

Библиографический список

1. Сафонов М.С., Сенашов С.И. Управление комплексом по реализации и переработке металлолома // Современные проблемы экономического и социального развития. 2015. N11. С. 40-43.

2. Растянникова Е.В. Вторичное использование ресурсов в металлургической промышленности в России и Китае // Инновации и инвестиции. 2019. N7. С. 81-85.

3. Скворцова Я.В., Дорофеева Н.Л. Переработка металлических конструкционных материалов // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Иркутск. 2018. С. 197-200.

4. Глазьева И.А., Глазьев М.В., Бажин В.Ю. Совершенствование технологии переработки отходов цветных металлов на качество вторичного сырья // Инновации в науке. 2017. N11(72). С. 24-26.

5. Чуднов М.Н. Переработка цветных металлов // Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте: сборник статей II международной студенческой конференции. Воронеж. 2020. С. 73-76.

6. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Методы получения металлических порошков для технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. N8. С. 58-65.

7. Фадеев А.А. Получение металлических порошков со сферической формой частиц из ультрадисперсных компонентов // XIV Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (с международным участием): сборник трудов. М. 2017. С. 298-300.

8. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Чаплыгин В.Ю., Горохов А.А. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. N1(18). С. 30-35.

9. Агеева Е.В., Зубарев М.В. Установка для получения порошковых материалов, пригодных для технологических процессов восстановления и упрочнения деталей // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 169-173.

10. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. N3. С. 32-37.

11. Авдюков Е.А. Перспективные технологии восстановления деталей и ремонта машин // Молодежь и наука. 2019. N4. С. 49.

12. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С. [и др.] Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

13. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., [et.al.]. The Tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. 2022. Vol. 12.N3.

14. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Трофименко Ю.В., и др. Современные тенденции формирования системы рециклинга техники. М.: Изд. «Перо». 2019. 557 с.

15. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор.2015.N10. С. 34-35.

References

1. Safonov M.S., Senashov S.I. Upravlenie kompleksom po realizacii i pererabotke metalloloma [Management of the complex for the sale and processing of scrap metal]. Sovremennye problemy ekonomicheskogo i social'nogo razvitiya. 2015. N11. 40-43 (In Russian).

2. Rastyannikova E.V. Vtorichnoe ispol'zovanie resursov v metallurgicheskoj promyshlennosti v Rossii i Kitae [Secondary use of resources in the metallurgical industry in Russia and China]. Innovacii i investicii. 2019. N7. 81-85 (In Russian).

3. Skvorcova Ya.V., Dorofeeva N.L. Pererabotka metallicheskih konstrukcionnyh materialov [Processing of structural metal materials]. Zhiznennyj cikl konstrukcionnyh materialov (ot polucheniya do utilizacii): materialy VIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Irkutsk. 2018. 197-200 (In Russian).

4. Glaz'eva I.A., Glaz'ev M.V., Bazhin V.Yu. Sovershenstvovanie tekhnologii pererabotki othodov cvetnyh metallov na kachestvo vtorichnogo syr'ya [Improving the technology of non-ferrous metal waste processing for the quality of secondary raw materials]. Innovacii v nauke. 2017. N11(72). 24-26 (In Russian).

5. Chudnov M.N. Pererabotka cvetnyh metallov [Processing of non-ferrous metals]. Sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: sbornik statej II mezhdunarodnoj studencheskoj konferencii. Voronezh. 2020. 73-76 (In Russian).

6. Romanov I.V., Zadorozhnij R.N. Metody polucheniya metallicheskih poroshkov dlya tekhnologij vosstanovleniya i uprochneniya detalej sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Methods for obtaining metal powders for technologies for the restoration and hardening of parts of agricultural machinery]. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2021. N8. 58-65 (In Russian).

7. Fadeev A.A. Poluchenie metallicheskih poroshkov so sfericheskoj formoj chastic iz ul'tradispersnyh komponentov [Obtaining metal powders with spherical particles from ultrafine components]. XIV Rossijskaya ezhegodnaya konferenciya molodyh nauchnyh sotrudnikov i aspirantov «Fiziko-himiya i tekhnologiya neorganicheskih materialov» (s mezhdunarodnym uchastiem): sbornik trudov. Moscov. 2017. 298-300 (In Russian).

8. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Gorohov A.A. Razmernye harakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode [Dimensional characteristics of bronze electroerosive powder obtained in water]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. 2016. N1(18). 30-35 (In Russian).

9. Ageeva E.V., Zubarev M.V. Ustanovka dlya polucheniya poroshkovyh materialov, prigodnyh dlya tekhnologicheskih processov vosstanovleniya i uprochneniya detalej [Installation for obtaining powder materials suitable for technological processes of restoration and hardening of parts]. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 129. 169-173 (In Russian).

10. Slinko D.B., Dorohov A.S., Denisov V.A., Lyalyakin V.P. Praktika primeneniya plazmenno-poroshkovoj naplavki pri vosstanovlenii iznoshennyh detalej mashin [The practice of using plasma-powder surfacing in the restoration of worn-out machine parts]. Tekhnologiya mashinostroeniya. 2019. N3. 32-37 (In Russian).

11. Avdyukov E.A. Perspektivnye tekhnologii vosstanovleniya detalej i remonta mashin [Perspective technologies for the restoration of parts and repair of machines]. Molodezh' i nauka. 2019. N4. 49 (In Russian).

12. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., et al. Vliyanie prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti

elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the nature of electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark al-loying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

13. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., [et.al.] The Tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings.2022.Vol. 12. N3.

14. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Trofimenko Yu.V., i dr. Sovremennye tendentsii formirovaniya sistemy retsiklinga tekhniki. [Modern trends in the formation of a recycling system of equipmen]. M.: Izd. «Pero». 2019. 557 (In Russian).

15. Dorokhov A.S., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D.M. Sredstva kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Means of quality control of agricultural machinery]. Sel'skiy mekhanizator. 2015. N10. 34-35 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Романов И.В. – анализ литературных данных, подготовка текста;
Задорожний Р.Н. – научное руководство, анализ экспериментальных данных;
Кудряшова Е.Ю. – доработка текста, анализ литературных данных.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Romanov I.V. – analysis of literature data, preparation of the manuscript;
Zadorozhny R.N. – scientific guidance, analysis of experimental data;
Kudryashova E.Yu. – revision of the text, analysis of literature data.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-48-55 УДК 631.3

Качество продукции – основа конкурентоспособности российского машиностроения

Леонид Иванович Кушнарев, доктор технических наук, профессор, e-mail: kushnarevl@mail.ru
Сергей Леонидович Кушнарев, кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Низкий уровень конкурентоспособности отечественной техники существенно снижает потребительский спрос. Решить данную проблему можно только на основе повышения качественного уровня и эксплуатационной надежности выпускаемых машин, которые закладываются при производстве техники. (Цель исследования) Повысить качество изготовления и надежность машин и оборудования российского производства на основе совершенствования их производства и технического сервиса. (Материалы и методы) Исследовали в качестве исходной информации и материалов фактические данные о машинах и оборудовании, задействованных в сельскохозяйственном производстве страны, показатели интенсивности их использования и эксплуатационной надежности. Применили следующие методы исследования: монографический, сравнительных оценок, статистический, анализа и синтеза. (Результаты и обсуждение) Указали, что работа направлена на определение причин низкого уровня качества российской техники, обоснование необходимости инновационного развития систем производства и технического сервиса машин и оборудования. Определили, что в основе высокой конкурентоспособности зарубежной техники – применение фирменного метода технического сервиса. Установили целесообразность инновационного развития производственно-технологической системы и создания машиностроительных фирм. Только фирма заинтересована в повышении качества выпускаемой техники и может организовать фирменный технический сервис своей продукции. (Выводы) Проведенные организационно-технологические исследования показали, что повышение качества изготовления и параметров надежности машин и оборудования на основе разработанного инновационного метода организации производства и технического сервиса позволит вывести российское машиностроение на конкурентоспособный уровень и обеспечить импортозамещение в техники.*

Ключевые слова: *технический уровень, качество, надежность, эффективность, конкурентоспособность.*

Для цитирования: *Кушнарев Л.И., Кушнарев С.Л. Качество продукции – основа конкурентоспособности российского машиностроения // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 48-55. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-48-55. AJENPA.*

Product quality as the basis of competitiveness of Russian engineering

Leonid I. Kushnarev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Sergey L. Kushnarev, Ph.D.(Eng.), associate professor,

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *The low level of competitiveness of domestic equipment significantly reduces consumer demand. This problem can be solved only on the basis of improving the quality level and operational reliability of manufactured machines, which are laid down in the production of equipment. (Research purpose) The research purpose is improving the manufacturing quality and reliability of Russian-made machines and equipment by improving their production and technical service. (Materials and methods) Investigated as initial information and materials the actual data on machines and equipment involved in agricultural production of countries; indicators of the intensity of their use and operational reliability. The following research methods were applied: monographic, comparative assessments, statistical, analysis and synthesis. (Results and discussion) The work is aimed at determining the reasons for the low level of quality of Russian equipment, substantiating the need for innovative development of production systems and technical service of machinery and equipment. It was determined that the basis of the high competitiveness of foreign equipment is the use of a proprietary method of technical service. The expediency of innovative development of the production and technological system and the creation of machine-building firms has been established. Only the company is interested in improving the quality of manufactured equipment, and only the company can organize branded technical service of its products. (Conclusions) The conducted organizational and technological studies have shown that improving the quality of manufacturing and reliability parameters of machinery and equipment based on the developed innovative method of organizing production and technical service will bring Russian engineering to a competitive level and ensure competitiveness and import substitution in technology.*

Keywords: *technical level, quality, reliability, efficiency, competitiveness.*

For citation: *Kushnarev L.I., Kushnarev S.L. Kachestvo produktsii – osnova konkurentosposobnosti rossiyskogo mashinostroyeniya [Product quality as the basis of competitiveness of Russian engineering]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 48-55(In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-48-55. AJENPA*

Введение. В настоящее время в сфере производства, реализации и использования машин и оборудования при изготовлении продукции, проведении работ и услуг в различных отраслях экономики страны остро встают задачи повышения эффективности производственных и других процессов. И поскольку основу машинно-технологического парка страны составляет отечественная техника, машины и оборудование, то и эффективность предприятий и отраслей в значительной мере определяется эффективностью их использования, которая напрямую зависит от технического уровня, качества и надежности машин [1-3].

На рынке сельскохозяйственной техники, машин и оборудования сложилась следующая ситуация [3-6]:

- машинно-тракторный парк агропредприятий всех типоразмеров и организационно-правовых форм сократился в 4,5-5 раз, несмотря на то, что практически все механизированные процессы и работы выполняются ими самостоятельно;

- основная часть имеющегося в хозяйствах парка машин и оборудования физически и морально изношена, около 80% парка машин и оборудования имеют срок службы более 10 лет, т. е. эксплуатируются за пределами нормативного срока службы;

- фактическая потребность предприятий страны в технике составляет по тракторам – около 850 тыс. шт., зерноуборочным комбайнам – 350 и кормоуборочным комбайнам – 270 тыс. шт. и требуется огромное количество самых разнообразных сельхозмашин и орудий;

- весьма значительны потребности современных отечественных машин и оборудования в техническом сервисе, особенно в устранении последствий отказов всех групп сложности, интенсивность возникновения которых возрастает в напряженные периоды работ, что ведет к потерям продукции;

- в сфере технического сервиса машин и оборудования практически отсутствуют концентрация и специализация производства и работ, весь комплекс работ по обеспечению работоспособности машин и оборудования проводят самостоятельно без участия предприятий технического сервиса, зачастую силами и средствами самих механизаторов;

- ремонтно-эксплуатационная база более половины предприятий требует проведения реконструкции и технологической модернизации, оснащения современным контрольно-диагностическим и ремонтно-технологическим оборудованием, остальных – строительства и оснащения новых объектов;

- эксплуатационные издержки по машинному парку предприятий превышают нормативные в 1,7-2,2 раза;

- ежегодные закупки высокопроизводительной и надежной импортной техники составляют примерно по 650-850 единиц тракторов, зерно- и кормоуборочных комбайнов, а доля импортной техники в сельскохозяйственном производстве АПК страны составляет примерно 7-12% и продолжает постепенно увеличиваться;

- при этом технический уровень, качество изготовления и показатели надежности импортных машин, поставляемых на российский рынок, неизмеримо выше, чем отечественных аналогов.

Цель исследования – повысить качество изготовления и надежность машин и оборудования российского производства на основе совершенствования их производства и технического сервиса.

Материалы и методы. В качестве исходной информации и материалов для исследования использовали фактические данные о машинах и оборудовании, применяемых в сельскохозяйственном производстве страны, показателях интенсивности их использования и эксплуатационной надежности. Задействовали следующие методы исследования: монографический, сравнительных оценок, статистический, анализа и синтеза и другие.

Результаты и обсуждение. Неоспоримым преимуществом зарубежных машин служит высочайший уровень надежности, что обеспечивает их высокую степень работоспособности, практически безотказную работу в течение первых трех лет эксплуатации при строгом соблюдении требований по техническому обслуживанию и использовании качественных эксплуатационных и ремонтно-технических материалов. В этот период тракторы и комбайны используются в хозяйствах весьма интенсивно, а их наработка может составлять соответственно 4,5-5,1 тыс. и 550-650 ч работы. Эти показатели относятся к машинам, которые поставлялись на российский рынок до 2000 года. Начиная с 2000 года, показатели надежности поставляемых импортных машин постепенно снижаются и за последние 15 лет наработка на отказ достигла по тракторам 1250-400 ч, по комбайнам – 200-220 ч. И все же эти показатели наработки на отказ, к сожалению, значительно выше, чем у отечественных аналогов – по тракторам – 80-120, комбайнам – 15-40 ч работы.

Результаты исследований причин низкой надежности и факторов повышения технического уровня, качества и надежности отечественной сель-

скохозяйственной техники позволяют сделать вывод о том, что в основе высокой конкурентоспособности зарубежной техники – применение фирменного метода технического сервиса. Именно непосредственное участие фирм-производителей в обеспечении работоспособного состояния машин и оборудования, особенно в гарантийный период эксплуатации, когда устранение последствий отказов, возникших не по вине потребителя, осуществляется за счет изготовителя машины с компенсацией ему ущерба, причиненного вынужденным простоем техники [5-7].

К сожалению, закупки импортной техники для российских потребителей не сопровождались обязательствами и требованиями создания и развития в стране фирменного технического сервиса зарубежной техники. В противном случае и поставщики, и потребители техники, машин и оборудования получили бы огромный положительный опыт обеспечения их работоспособности в течение всего срока службы [6-8].

Поставщики-посредники (дилеры) уменьшив период гарантийной эксплуатации импортных машин и оборудования с трех лет до одного года, которые высоконадежная импортная машина гарантировано отработает безотказно, взяли на себя только заведомо выгодные торговые и снабженческо-сбытовые функции. Это лишило потребителей импортной техники и предприятий технического сервиса возможностей изучения и внедрения перспективного фирменного метода технического сервиса.

До перехода на рыночные экономические отношения сельскохозяйственное производство обслуживало около десятка различных организаций (агроснабы, автотранспортные предприятия, ремтехпредприятия, станции технического обслуживания тракторов, автомобилей, животноводства, энергооборудования, мастерские по восстановлению изношенных деталей, цеха по изготовлению нестандартного оборудования, сельхозхимии, мелиоводобслуживания и др.). В напряженные периоды полевых работ многие из них направляли своих специалистов и рабочих механизаторов для оказания помощи селянам в севе, уходе, защите, уборке культур, основной обработке почвы. Обслуживающие предприятия оказывали услуги каждый по своему направлению производственно-хозяйственной деятельности. В настоящее время практически весь комплекс работ по производству сельскохозяйственных культур лежит на сельском товаропроизводителе. Кроме того, значительную трудоемкость и сложность представляют операции и работы, связанные с обеспечением работоспособности машин и оборудования в связи с низким уровнем их качества надежности: периодические технические обслуживания, плановый и неплановый текущий ремонты. Причем неплановый текущий ремонт по объему превышает суммарную трудоемкость всех остальных плановых мероприятий и потребность в нем возникает в напряженные периоды использования техники [9-11].

Высокие трудозатраты, издержки на обеспечение работоспособности парка машин и оборудования требуют скорейшего повышения качества и надежности выпускаемой российскими предприятиями техники, машин и оборудования. Как показывают результаты исследований, единственный путь повышения конкурентоспособности отечественной техники, машин и оборудования – это повышение их качества и надежности на основе фирменного метода технического сервиса и реализации разработанного организационно-экономического механизма в системе инженерно-технического обеспечения потребителей техники, машин и оборудования. Участие производителей техники, машин и оборудования в обеспечении их работоспособности в гарантийный период, уже на первом этапе реализации настоящего

проекта позволит как минимум в 3-5 раз повысить основной показатель надежности – наработку на отказ, исключив в гарантийный период эксплуатации отказы первой и второй групп сложности. Это сразу же вывело бы отечественные тракторы, комбайны, автомобили и сельхозмашины на уровень зарубежных аналогов. При этом, как показывают расчеты, затраты машиностроительных компаний на достижение этих результатов были бы минимальны, а полная (коммерческая) себестоимость техники, машин и оборудования составила около 45-60% от цены зарубежных машин-аналогов.

Особенность научно-методического подхода к решению этой проблемы заключается в обеспечении требуемых показателей качества и надежности, прежде всего, на стадии проектировании и производства машин, что позволит исключить их простои по техническим причинам в гарантийный период эксплуатации [10-12].

Повышение технического уровня машин, их качества и надежности привело бы к новому механизму ценообразования, который бы учитывал данные факторы и стимулировал предприятия машиностроения. Известно, что повышение качества продукции машиностроения позволяет не только улучшить показатели эффективности использования ресурсного потенциала, но и снизить потребности в производстве новых машин и оборудования.

Определив снижение трудовых и материальных затрат на обеспечение работоспособности машин и оборудования при исключении отказов первой и второй групп сложности, расчетным путем получили снижение продолжительности пребывания машин на предприятиях технического сервиса и потребности в технике на 25-35%.

Эффективность практической реализации данного направления имеет синэргетическую (а может быть и мультипликативную) эффективность и она настолько высока и очевидна, что абсолютно не понятны причины незаинтересованности государства и предприятий машиностроительного бизнеса в разработке и реализации программ повышения качества продукции предприятий машиностроения.

Выводы. Проведенные организационно-технологические исследования показали, что повышение качества изготовления и параметров надежности машин и оборудования на основе фирменной организации производства и технического сервиса позволит вывести российское машиностроение на конкурентоспособный уровень и обеспечить конкурентоспособность и импортозамещение в технике.

Решение проблем импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции сегодня стоит настолько остро, что условия санкционной политики западных конкурентов необходимо рассматривать как дополнительный стимул перехода к реальным действиям в этом ресурсосберегающем направлении.

Использование последних разработок по направлению реновации машин и оборудования на основе фирменного метода технического сервиса существенно ускорит решение проблем повышения качества, надежности и эффективности современной продукции машиностроения [13-17].

Библиографический список

1. Техническая эксплуатация сельскохозяйственных машин (с нормативными материалами). М.: ГОСНИТИ. 1993. 327 с.

2. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания машин и оборудования животноводства (система ППРТОЖ). М.: Госагропром СССР. 1988. 144 с.

3. Агафонов Н.И., Клименко В.И., Бородина Е.Н. Предложения по организации производства сельскохозяйственной продукции и технического сервиса машинного парка на кооперативной основе фермерских хозяйств // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: сборник научных трудов. Зерноград. 2007. С. 199-205.

4. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В. Модернизация системы технического сервиса аграрно-промышленного комплекса. М.: Издательство журнала «МЭСХ». 2015. 450 с.

5. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарев С.Л. Качество и надежность отечественной техники – основа ее конкурентоспособности // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N11. С. 35-37.

6. Кушнарев С.Л. Принципы организации фирменного обслуживания сельскохозяйственной техники // Ремонт, восстановление. модернизация. 2004. N1. С. 35-37.

7. Чепурина Е.Л. Состояние организации технического сервиса машин и оборудования животноводства // Международный технико-экономический журнал. 2013. N4. С. 61-67.

8. Чепурина Е.Л., Кушнарев Л.И. Роль и место производителей сельхозтехники в фирменном техническом сервисе // Техника и оборудование для села. 2013. N7. С. 38-40.

9. Кушнарев Л.И. Фирменный технический сервис машин и оборудования. Проблемы. Поиски. Решения. Saarbrucken. Deutschland / Германия. Palmarium. Academic publishirig. 2014. 210 с.

10. Кушнарев Л.И. К решению проблемы повышения конкурентоспособности отечественной техники. Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. N5. С. 3-8.

11. Кушнарев Л.И. Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарев С.Л. Качество и надежность отечественной техники – основа ее конкурентоспособности // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N11. С. 35-37.

12. Кушнарев Л.И., Алешин В.Ф. Повышение конкурентоспособности машиностроения // Тракторы и сельхозмашины. 2019. N6. С. 79-86.

13. Хабардин В.Н. Проблемы и концепция технического обслуживания машин в сельском хозяйстве. Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет. 2020. 124 с.

14. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // Технический сервис машин. 2019. Т. 57. N4(137). С. 220-229.

15. Дорохов А.С., Семейкин В.А. Входной контроль качества продукции машиностроения // Сельский механизатор. 2013. N11. С. 22-33.

16. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Экономическая эффективность сельскохозяйственной техники //Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2009. N7. С. 15-17.

17. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Система контроля качества деталей сельскохозяйственных машин. М.: Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства». 2019. 192 с.

18. Дорохов А.С. Роль качества в инженерно-техническом обеспечении АПК // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 62-69.

References

1. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sel'skokhozyaystvennykh mashin (s norma-tivnymi materialami) [Technical operation of agricultural machinery (with regulatory materials)]. Moscow: GOSNITI. 1993. 327 (In Russian).

2. Sistema planovo-predupreditel'nogo remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin i oborudovaniya zhivotnovodstva (sistema PPRTOZh) [The system of scheduled preventive maintenance and maintenance of livestock machinery and equipment (the

PPRTOZh system)]. Moscow: Gosagroprom SSSR. 1988. 144 (In Russian).

3. Agafonov N.I., Klimenko V.I., Borodina E.N. Predlozheniya po organizatsii proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii i tekhnicheskogo servisa mashinnogo parka na kooperativnoy osnove fermerskikh khozyaystv [Proposals for the organization of agricultural production and technical service of the machine park on a cooperative basis of farms]. Issledovaniya i razrabotka sovremennykh tekhnologiy i sredstv mekhanizatsii v polevodstve yuga Rossii: sbornik nauchnykh trudov. Zernograd. 2007. 199-205 (In Russian).

4. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin A.V. Modernizatsiya sistemy tekhnicheskogo servisa agrarno-promyshlennogo kompleksa [Modernization of the technical service system of the agricultural and industrial complex]. Moscow: Izdatel'stvo zhurnala «MESKh». 2015. 450 (In Russian).

5. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnarev S.L. Kachestvo i nadezhnost' otechestvennoy tekhniki – osnova eye konkurentosposobnosti [The quality and reliability of domestic equipment is the basis of its competitiveness]. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. N11. 35-37 (In Russian).

6. Kushnarev S.L. Printsipy organizatsii firmennogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Organization of branded service of agricultural machinery]. Remont, vosstanovleniye. modernizatsiya. 2004. N1. 35-37 (In Russian).

7. Chepurina E.L. Sostoyaniye organizatsii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya zhivotnovodstva [The state of the organization of technical service of livestock machinery and equipment]. Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskiy zhurnal. 2013. N4. 61-67 (In Russian).

8. Chepurina E.L., Kushnarev L.I. Rol' i mesto proizvoditeley sel'khoztekhniki v firmennom tekhnicheskom servise [The role and place of agricultural machinery manufacturers in the company's technical service]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2013. N7. 38-40 (In Russian).

9. Kushnarev L.I. Firmennyy tekhnicheskiy servis mashin i oborudovaniya. Problemy. Poiski. Resheniya. Saarbrucken. Deutschland [Branded technical service of machinery and equipment. Problems. The search. Decisions. Saarbrucken. Deutschland]. Germany. Palmarium. Academic publishirig. 2014. 210 (In Russian).

10. Kushnarev L.I. K resheniyu problemy povysheniya konkurentosposobnosti otechestvennoy tekhniki [Solving the problem of increasing the competitiveness of domestic technology]. Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya. 2017. N5. 3-8 (In Russian).

11. Kushnarev L.I. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnarev S.L. Kachestvo i nadezhnost' otechestvennoy tekhniki – osnova eye konkurentosposobnosti [The quality and reliability of domestic equipment as the basis of its competitiveness]. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. N11. 35-37 (In Russian).

12. Kushnarev L.I., Aleshin V.F. Povysheniye konkurentosposobnosti mashinostroyeniya [Improving the competitiveness of mechanical engineering]. Traktory i sel'khozmashiny. 2019. N6. 79-86 (In Russian).

13. Khabardin V.N. Problemy i kontseptsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin v sel'skom khozyaystve [Problems and the concept of machine maintenance in agriculture]. Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2020. 124 (In Russian).

14. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy for machine and technological modernization of russian agriculture until 2030 (Forecast)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4(137). 220-229 (In Russian).

15. Dorokhov A.S., Semeykin V.A. Vkhodnoy kontrol' kachestva produktsii mashinostroeniya [Input quality control of mechanical engineering products]. Sel'skiy

mekhanizator. 2013. N11. 22-33 (In Russian).

16. Semeykin V.A., Dorokhov A.S., ekonomicheskaya effektivnost' sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Economic efficiency of agricultural machinery].Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina. 2009. N7. 15-17 (In Russian).

17. Dorokhov A.S., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D.M. Sistema kontrolya kachestva detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin [Quality control system for agricultural machinery parts]. Moscow: Redakciya zhurnala «Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva». 2019. 192. (In Russian).

18 Dorokhov A.S. Rol' kachestva v inzhenerno-tekhnicheskom obespechenii APK [The role of quality in the engineering and technical support of the agro-industrial complex]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 125. 62-69. (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Кушнарев Л.И. – научное руководство, доработка и редактирование текста;

Кушнарев С.Л. – анализ литературных данных, анализ результатов исследования, подготовка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kushnarev L.I. – scientific guidance, revision and editing of the manuscript;

Kushnarev S.L. – analysis of literary data, analysis of research results, preparation of the manuscript.

All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-56-64 УДК 621.11

Энергетическая установка для переработки агропромышленных отходов в моторное топливо

Денис Фаилевич Балтиков, кандидат технических наук,
e-mail: baltikov21@gmail.com;
Аделина Фаниловна Шайхлисламова, аспирант;
Дмитрий Сергеевич Леонтьев, старший преподаватель;
Денис Дамирович Харисов, кандидат технических наук
Башкирский государственный аграрный университет,
Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. *В Российской Федерации преобладающее направление в области обращения с отходами не переработка, а захоронение и складирование, как санкционированное, так и несанкционированное. На свалках захоранивают различные виды продукции, пищевые отходы, стекло, текстиль, отходы полимерного производства. Пластиковые пакеты, различные упаковочные материалы, резинотехнические изделия разлагаются десятки и сотни лет, загрязняя окружающую среду. (Цель исследования) Разработать энергетическую установку для получения моторного топлива и удобрения путем переработки агропромышленных отходов на основе пиролиза. (Материалы и методы) Применили методы численного анализа, в теоретических исследованиях использовали основные положения и законы теплового баланса и математики. Полученные экспериментальные данные обработали методами математической статистики с применением электронно-вычислительных машин. (Результаты и обсуждение) Разработали технологию утилизации отработанных резинотехнических изделий с попутной выработкой тепловой и электрической энергии. Определили характеристики работы энергетической установки при переработке резинотехнических изделий, а также состав пиролизного газа: CO – 25, CO_2 – 18, CH – 17 процентов, температура пиролиза – 700-800 градусов Цельсия. С учетом характеристик резинотехнических изделий в качестве топлива собрали экспериментальный образец энергетической установки. Определили, что средний срок окупаемости данной энергетической установки приблизительно 1,5-2 года. (Выводы) Данная технология позволяет решить проблему утилизации отходов автомобильных шин с точки зрения экологической и экономической целесообразности. При утилизации вырабатывается дополнительная тепловая и электрическая энергия, которая направляется на нужды производства собственного хозяйства.*

Ключевые слова: *пиролизная установка, реактор, тепловая энергия, шина, моторное топливо, экология, переработка, альтернативный источник.*

Для цитирования: *Балтиков Д.Ф., Шайхлисламова А.Ф., Леонтьев Д.С., Харисов Д.Д. Энергетическая установка для переработки агропромышленных отходов в моторное топливо // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 56-64. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-56-64. GQWYGV.*

POWER PLANT FOR PROCESSING AGRO-INDUSTRIAL WASTE INTO MOTOR FUEL

Denis F. Baltikov, Ph.D.(Eng.);
Adelina F. Shaikhlislamova, postgraduate;
Dmitriy S. Leont'ev, senior lecturer;
Denis D. Harisov, Ph.D.(Eng.);
Bashkir State Agrarian University,
Ufa, Respublika Bashkortostan, Rossiyskaya Federatsiya

Abstract. *In the Russian Federation, the predominant direction in the field of waste management is not recycling, but burial and storage, both authorized and unauthorized. Various types of products, food waste, glass, textiles, polymer production waste are buried in landfills. Plastic bags, various packaging materials, rubber products decompose for tens and hundreds of years, polluting the environment. (Research purpose) The research purpose is developing an energy plant for the production of motor fuel and fertilizers by processing agro-industrial waste based on pyrolysis. (Materials and methods) Applied methods of numerical analysis, in theoretical studies used the basic provisions and laws of heat balance and mathematics. The experimental data obtained were processed by methods of mathematical statistics using electronic computers. (Results and discussion) We have developed a technology for recycling used rubber products with associated generation of thermal and electrical energy. The characteristics of the power plant operation during the processing of rubber products, as well as the composition of pyrolysis gas were determined: CO – 25, CO_2 – 18, CH – 17 percent, pyrolysis temperature – 700-800 degrees Celsius. Taking into account the characteristics of rubber products, an experimental sample of a power plant was assembled as fuel. It was determined that the average payback period of this power plant is approximately 1.5-2 years. (Conclusions) This technology makes it possible to solve the problem of recycling car tire waste both from an environmental point of view and from an economic feasibility. During recycling, additional thermal and electrical energy is generated, which is directed to the needs of the production of its own economy.*

Keywords*: pyrolysis plant, reactor, thermal energy, tire, motor fuel, ecology, recycling, alternative source.*

For citation: *Baltikov D.F., Shaykhlislamova A.F., Leont'yev D.S., Kharisov D.D. Energeticheskaya ustanovka dlya pererabotki agropromyshlennykh otkhodov v motornoye toplivo [Power plant for processing agro-industrial waste into motor fuel]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 56-64 (In Russian). DOI 10. 22314/2618-8287-2023-61-2-56-64. GQWYGV.*

Введение. Современная промышленность России наращивает свои производственные мощности. Развитие промышленности стимулирует повышение уровня жизни людей, увеличивается ассортимент товаров, предлагаемых потребителям, появляются новые технологии производства, происходит расширение рынка во всех направлениях: как в качестве товаров, так и в их количестве. Увеличение объемов производимой продукции влечет за собой увеличение отходов производства. По данным Росстата, в Российской Федерации ежегодное количество отработанных шин составляет более 2 млн т. Постоянное увеличение изношенных шин представляет собой проблему не только в России, но и во всем мире. Их неконтролируемая утилизация в

виде сжигания ведет к загрязнению окружающей среды окисью углерода, цианистыми соединениями, диоксидами.Изготовленная из резины шина устойчива к воздействию факторов окружающей среды, скопление крупных объемов изношенных покрышек создает серьезную экологическую проблему (относится к 4 классу опасности).Для решения данной проблемы существуют современные и инновационные технологии переработки шин, но их внедрение имеет довольно ограниченный характер [1-3].

Это в первую очередь связано с большими материальными затратами и организацией дополнительных производств, которые трудно сделать достаточно эффективными из-за сложности протекающих процессов. В настоящее время существует большое количество способов переработки изношенных автотракторных шин: механическая переработка (в результате получаются шинная крошка, текстильный корд, металлический корд), сжигание и пиролиз [4].

Однако большинство из приведенных способ неэффективны и экологически нецелесообразны, за исключением пиролиза шин. При пиролизе протекает процесс термического разложения материалов, (шин) при температуре 350-600°С с недостаточной подачей кислорода, в результате чего образуются различные горючие и не горючие газы, жидкие и твердые продукты. Данный метод утилизации служит наиболее экологически чистым и безопасным [5].

Разработка экологичной и безопасной энергетической установки для утилизации резинотехнических изделий (РТИ) позволит производить моторное топливо (пиролизное топливо и генераторный газ) с дальнейшим его использованием для получения электрической и тепловой энергии.

Цель исследования – разработать энергетическую установку для получения моторного топлива и удобрения путем переработки агропромышленных отходов на основе пиролиза.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- разработать энергетическую установку для утилизации отработанных шин с дальнейшим получением электрической и тепловой энергии;
- провести анализ полученных продуктов в результате пиролиза шин.
- выполнить расчеты по оценке эколого-экономической эффективности проекта.

Материалы и методы. В исследованиях применили методы численного анализа; в теоретических исследованиях использовали основные положения и законы теплового баланса и математики. Полученные экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с применением электронно-вычислительных машин.

Результаты и обсуждение. Процесс пиролиза заключается в термическом разложении углеводородных макроцепочек на менее крупные фрагменты с целью формирования газообразных (с длиной цепи ~ *C1-C5*), жидких (~ *C5-C13*) и твердых (то есть углерода) продуктов. Изначально сырье для пиролиза – отработанные автомобильные шины – необходимо просушить в целях сведения к минимуму содержания влаги в исходном сырье. Это необходимо, чтобы избежать побочных реакций и уменьшить количество химически связанной «пиролизной воды» в конечных продуктах, так как она напрямую влияет на их качество. Основные узлы пиролизной установки представили на *рисунке 1.*

Основной узел в данной установке – реактор 1, где происходит реакция термической деструкции углеводородных цепочек отработанных шин. Переработка осуществляется следующим образом. Реактор 1 загружают сырьем (в качестве сырья можно использовать как цельные, так и измельчен-

ные шины). Для начала протекания процесса пиролиза реактор разогревают жидкотопливными или газопламенными горелками.

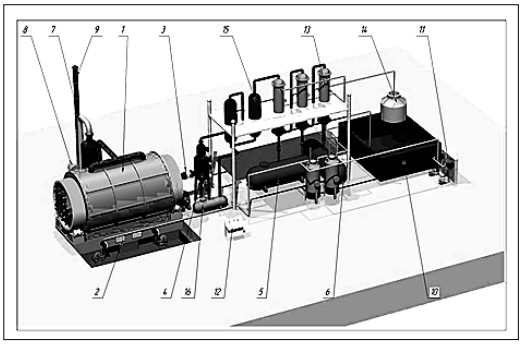


Рис. 1. Схема пиролизной установки:
1 – реактор; 2 – камера горения; 3 – нефтяная розетка; 4 – каталитическая камера; 5 – резервуар; 6 – бак; 7 – система удаления пыли,; 8 – вытяжной вентилятор; 9 – дымоход; 10 – охлаждающий бассейн; 11 – горелки; 12 – блок управления; 13 – конденсатор; 14 – градирня; 15 – охладитель; 16 – отстойник

По истечении 40 мин начинается реакция пиролиза и установка переходит на автономное обеспечение газовым топливом. При достижении температуры 100 °С пиролизный газ выходит из нефтяной розетки 3. Далее проходит через каталитическую камеру 4, где газ очищается от крупных примесей. После грубой очистки газ проходит через охладитель 15, где конденсируется в виде тяжелых масел и сливается в резервуар 5. Далее газы по-прежнему проходят через охладитель 15, где конденсат собирается в виде светлой масляной фракции по сравнению с первой фракцией и сливается в бак 6. Очищенный газ можно использовать в качестве топлива для нагрева реактора 1 и/или в электрогенераторе для выработки электрической энергии. Газы, выходящие из камеры горения 2 реактора 1, с помощью вытяжного вентилятора 8 проходят через систему удаления пыли 7 и выходят по дымоходу 9 в окружающую среду [6].

Данная система позволяет практически полностью извлечь жидкую составляющую пирогаза без потерь. Энергетическая установка дает возможность перерабатывать не только резинотехнические изделия, но и различные пластиковые отходы (в т. ч. медицинского происхождения), землю, которая пропитана нефтяными продуктами, и другие.

Описываемая пиролизная установка в рабочем режиме перерабатывает до 10 т за один цикл (12 ч). Система последовательного (предварительного) нагрева резины позволяет экономить до 20% топлива на начальной стадии. При описанном процессе, возможно, потребуется установка байпасного факела для экстренного сброса давления. По завершению процесса пиролиза твердый остаток (углерод и металлокорд) имеет температуру 400-500 °С. При естественных условиях требуется до 14 ч на охлаждение, также возможно применение охлаждения перегретым паром из парогенераторов. В данном случае время охлаждения снижается до 4-5 ч.

После охлаждения до 120-140 °С твердый остаток выгружается и сепарируется, при этом крупные включения металлической проволоки отделяются на вибросите. После вибросита по ленточным конвейерам (со встроенным магнитным сепаратором) углеродный остаток окончательно очищается от металлических включений. В качестве минимизации ручного труда необходимо использовать гидравлический опрокидыватель.

Разработанную установку опробовали на базе предприяти ИП «Нуриахметов Р.Ф.» с коммерческим названием «Буздякпромпереработка».

На данном предприятии была собрана установка для утилизации резинотехнических отходов, пластика и нефтешлама путем термохимического процесса (*рис. 2*).

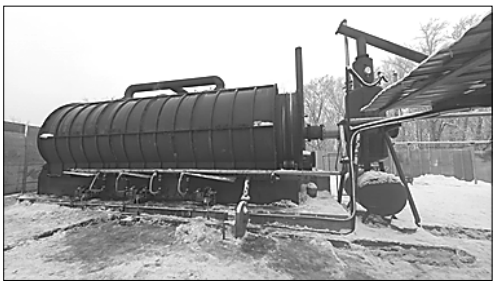


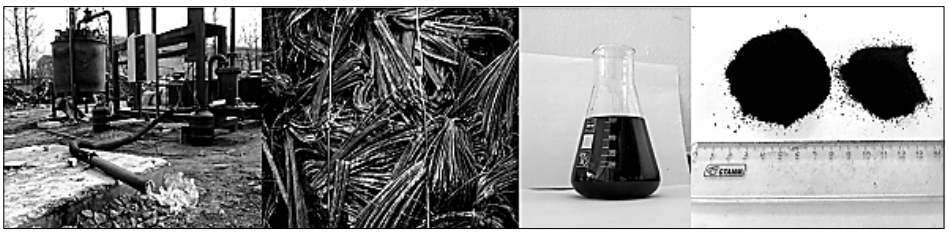
Рис. 2. Опытный образец энергетической установки для переработки резинотехнических и других отходов на предприятии «Буздякпромпереработка»

Установка по переработке вторичного сырья осуществляет современный технологический процесс, предусматривающий следующие основные этапы: доставка вторичного сырья; приемка вторичного сырья и взвешивание; разгрузка вторичного сырья (временное хранение); обработка вторичного сырья (измельчение); утилизация, обезвреживание вторичного сырья путем термохимического процесса (*рис. 3*).

а *б* *в*

Рис. 3. Сырье для утилизации:
а – нефтешлам; б – пластик; в – отработанные автомобильные шины

В реактор загружается 10 т отработанных автомобильных шин (загружаются как цельные покрышки, так и измельченные). От размера загружаемого сырья зависит время начала реакции пиролиза и его продолжительность. Процесс пиролиза протекает в течение 10-12 ч, в результате чего получается 40-45% печного топлива, 30-35 – углерода, 5 – пиролизного газа, 10-15% – металлокорда (*рис. 4*).



а *б* *в* *г*

Рис. 4. Продукты, получаемые в результате пиролиза резинотехнических изделий (пластика, нефтешлама): а – пиролизный газ; б – металлокорд; в – пиролизное топливо; г – углерод

Полученный пиролизный газ применяется в системах отопления для нагрева воды, перерабатывающей промышленности, а также в качестве топлива в горелке газогенераторной установки (как и пиролизное масло). Также пиролизный газ используется в качестве топлива в электрогенераторе для получения электрической энергии [7].

Жидкое печное топливо сбывается заводам, сельхозпредприятиям, фабрикам и нефтеперерабатывающим заводам, так как оно пригодно для всех видов горелок [8].

Углерод применяется в производстве резинотехнических изделий, пластмасс, полиэтилена, в качестве наполнителя (усилителя) резины, покрышек, а также используется в виде брикетированного угля (на экспорт) для промышленных печей и отопления. Металлокорд передается на пункты приема черного лома для дальнейшей переработки.

Следующим этапом исследования стало определение качества пиролизного газа, где основным горючим компонентом служит окись углерода CO [9].

Таблица

Состав газовой фазы продуктов пиролиза

Газовая фаза	**Состав**	
	% по массе	**кг/т**
Водород	37,96	69,12
Окись углерода	39,96	71,12
Метан	12,98	23,37
Газы С2-С4	9,09	16,36
Итого	100,0	180

Экономическое обоснование: стоимость энергетической установки зависит от объема загрузки, в данном случае – 10 т. Экономический эффект заключается в переработке резинотехнических изделий от различных промышленных предприятий, продаже пиролизного топлива, углерода и металлокорда [10-18].

Средний срок окупаемости данной энергетической установки приблизительно 1,5-2 года.

Выводы. Разработана технология утилизации резинотехнических изделий. Данный способ утилизации РТИ экологически чистый и эффективный. Продукты пиролиза (пиролизный газ и печное топливо) используются в газопоршневых и котельных установках, для выработки электрической и тепловой энергии, для энергоснабжения технологических процессов предприятия.

Библиографический список

1. Балтиков Д.Ф., Ахметшин А.Т., Ибатуллина А.Ф. Энергообеспечение птицеводческих хозяйств // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. N2(94). С. 170-175.

2. Балтиков Д.Ф. Газогенераторная установка малой мощности для энергообеспечения производственных процессов малых молочно-товарных ферм. Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 91-94.

3. Габитов И.И. Разработка энергетической установки для утилизации отходов и энергообеспечения птицеводческих ферм // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. N2(143). С. 21-28.

4. Габитов И.И., Балтиков Д.Ф., Ибатуллина А.Ф. Энергообеспечение птицеводческих хозяйств с использованием газогенераторной установки // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N1(146). С. 87-94.

5. Габитов И.И., Балтиков Д.Ф. Энергетический комплекс с газогенераторной установкой для малых сельскохозяйственных производств // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. N91. С. 14-23.

6. Ибатуллина А.Ф. Переработка отходов птицеводческих ферм в газогенераторных установках // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий: материалы V Всероссийской научно-практической конференции в рамках Российского энергетического форума и XXVI международной выставки «Энергетика Урала». Уфа. 2020. 141 с.

7. Иванов Ю.Г. Термическая утилизация птичьего помета // Сельский механизатор. 2015. N9. С. 32-33.

8. Инсафуддинов С.З. Повышение эффективности фильтрации теплоносителя в системе отопления жилого дома с конденсационным котлом // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий: материалы международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XIV Российского энергетического форума. Уфа. 2014. С. 59-63.

9. Козеев А.А. Оптимизация параметров энергетического комплекса на основе газогенераторной установки // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 108-114.

10. Кошкин В.П., Никитин Н.И. Устройство для сушки куриного помета // Современные наукоемкие технологии. 2014. N5-1. С. 62-63.

11. Ляшков В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет. 2013. 96 с.

12. Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Энергетический потенциал продуктов деструкции органосодержащих отходов АПК при их переработке в сверхкритической водной среде // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 4. N44. С. 5-11.

13. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Адсорбционно-окислительная технология переработки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N2. С. 207-221.

14. Izmailov A.Yu., Kozhevnikov Yu.A., Lobachevsky Ya.P., Marchenko O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and metods of solution. AMA. Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2018. Vol. 49. N4. 49-53.

15. Артамонов А.В., Пашкин С.В., Григорьев В.С., Лобачевский Я.П., Савельев Г.С., Кожевников Ю.А., Ценч Ю.С., Федотов А.В. Сверхкритические водные технологии для решения экологических и энергетических задач АПК // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. N3(47). С. 7-12.

16. Федотов А.В., Григорьев В.С., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Гидротермальный пиролиз органосодержащих отходов в сверхкритических условиях воды // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. N4(37). С .126-132.

17. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехнические материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45.

18. Дорохов А.С., Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А., Использование цифровых технологий при формировании системы утилизации выведенной из эксплуатации техники // Технический сервис машин. 2019. Т. 57. N4. С. 109-117.

References

1. Baltikov D.F., Akhmetshin A.T., Ibatullina A.F. Energoobespecheniye ptitsevodcheskikh khozyaystv [Energy supply of poultry farms]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. N2(94). 170-175 (In Russian).

2. Baltikov D.F. Gazogeneratornaya ustanovka maloy moshchnosti dlya energoobespecheniya proizvodstvennykh protsessov malykh molochno-tovarnykh ferm [Low-power gas generator set for power supply of production processes of small dairy farms]. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 118. 91-94 (In Russian).

3. Gabitov I.I. Razrabotka energeticheskoy ustanovki dlya utilizatsii otkhodov i energoobespecheniya ptitsevodcheskikh ferm [Development of a power plant for waste disposal and energy supply of poultry farms]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2021. Vol. 59. N2(143). 21-28 (In Russian).

4. Gabitov I.I., Baltikov D.F., Ibatullina A.F. Energoobespecheniye ptitsevodcheskikh khozyaystv s ispol'zovaniyem gazogeneratornoy ustanovki [Energy supply of poultry farms using a gas generator set]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N1(146). 87-94 (In Russian).

5. Gabitov I.I., Baltikov D.F. Energeticheskiy kompleks s gazogeneratornoy ustanovkoy dlya malykh sel'skokhozyaystvennykh proizvodstv [Energy complex with gas generator set for small agricultural production] // Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva. 2017. N91. 14-23 (In Russian).

6. Ibatullina A.F. Pererabotka otkhodov ptitsevodcheskikh ferm v gazogeneratornykh ustanovkakh [Processing of poultry farm waste in gas generating plants]. Aktual'nyye problemy energoobespecheniya predpriyatiy: materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh Rossiyskogo energeticheskogo foruma i XXVI mezhdunarodnoy vystavki «Energetika Urala». Ufa. 2020. 141 (In Russian).

7. Ivanov Yu.G. Termicheskaya utilizatsiya ptich'yego pometa [Thermal disposal of bird droppings]. Sel'skiy mekhanizator. 2015. N9. 32-33 (In Russian).

8. Insafuddinov S.Z. Povysheniye effektivnosti fil'tratsii teplonositelya v sisteme otopleniya zhilogo doma s kondensatsionnym kotlom [Improving the efficiency of coolant filtration in the heating system of a residential building with a condensing boiler]. Aktual'nyye problemy energoobespecheniya predpriyatiy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, provodimoy v ramkakh XIV Rossiyskogo energeticheskogo foruma. Ufa. 2014. 59-63 (In Russian).

9. Kozeyev A.A. Optimizatsiya parametrov energeticheskogo kompleksa na osnove gazogeneratornoy ustanovki [Optimization of the parameters of the energy complex based on a gas generator set]. Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. 108-114 (In Russian).

10. Koshkin V.P., Nikitin N.I. Ustroystvo dlya sushki kurinogo pometa [Device for drying chicken manure]. Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii. 2014. N5-1. 62-63 (In Russian).

11. Lyashkov V.I. Netraditsionnyye i vozobnovlyayemyye istochniki energii [Unconventional and renewable energy sources]. Tambov: Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2013. 96 (In Russian).

12. Lobachevskiy Ya.P., Fedotov A.V., Grigor'yev V.S., Tsench Yu.S. Energeticheskiy potentsial produktov destruktsii organosoderzhashchikh otkhodov APK pri ikh pererabotke v sverkhkriticheskoy vodnoy srede [The energy potential of the products of destruction of organic-containing agricultural waste during their processing in a supercritical aquatic environment]. Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2018. Vol. 4. N44. 5-11 (In Russian).

13. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Fedotov A.V., Grigor'yev V.S., Tsench Yu.S. Adsorbtsionno-okislitel'naya tekhnologiya pererabotki stochnykh vod predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa [Adsorption-oxidative technology of wastewater treatment of agro-industrial enterprises]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N2. 207-221 (In Russian).

14. Izmailov A.Yu., Kozhevnikov Yu.A., Lobachevsky Ya.P., Marchenko O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and metods of solution. AMA. Agricultural mechanization in Asia, Africa and

Latin America. 2018. Vol. 49. N4. 49-53.

15. Artamonov A.V., Pashkin S.V., Grigor'yev V.S., Lobachevskiy Ya.P., Savel'yev G.S., Kozhevnikov Yu.A., Tsench Yu.S., Fedotov A.V. Sverkhkriticheskiye vodnyye tekhnologii dlya resheniya ekologicheskikh i energeticheskikh zadach APK [Supercritical water technologies for solving environmental and energy problems of the agro-industrial complex]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. N3(47). 7-12 (In Russian).

16. Fedotov A.V., Grigor'yev V.S., Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Gidrotermal'nyy piroliz organosoderzhashchikh otkhodov v sverkhkriticheskikh usloviyakh vody [Hydrothermal pyrolysis of organ-containing waste in supercritical water conditions]. Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK. 2019. N4(37). 126-132 (In Russian).

17. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnicheskiye materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian).

18. Dorokhov A.S., Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buryakov S.A., Ispol'zovaniye tsifrovykh tekhnologiy pri formirovanii sistemy utilizatsii vyvedennoy iz ekspluatatsii tekhniki [The use of digital technologies in the formation of a system for the disposal of decommissioned equipment]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4. 109-117 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Балтиков Д.Ф. – подготовка экспериментальных исследований;
Шайхлисламова А.Ф. – редактирование текста;
Леонтьев Д.С. – разработка экспериментального образца установки;
Харисов Д.Д. – анализ проблемы исследования.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Baltikov D.F. – preparation of experimental studies;
Shaikhlislamova A.F. – manuscript editing;
Leontiev D.S. – development of an experimental sample of the installation;
Kharisov D.D. – analysis of the research problem.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-65-74 УДК 621.436.2

Математическое моделирование технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве

Аслан Каральбиевич Апажев, доктор технических наук, профессор;
Юрий Ахметханович Шекихачев, доктор технических наук, профессор, e-mail: shek-fmep@mail.ru;
Таймира Хасановна Пазова, доктор технических наук, доцент;
Хусен Лёлович Губжоков, кандидат технических наук;
Амур Григорьевич Фиапшев, кандидат технических наук, доцент
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация

Реферат. *В логическом представлении технологический процесс сборки любого механизма или узла, в том числе и кривошипно-шатунного механизма двигателя, всегда можно рассматривать как одну из форм отображения функциональных и конструктивных признаков поиска некоторой целевой функции. (Цель исследования) Обосновать эффективность оригинальных подходов к математическому моделированию технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве. (Материалы и методы) Провели исследования с использованием полной информации об объекте моделирования в составе единой системы математического моделирования технологических процессов сборки, формирующейся на уровнях абстрагирования структуры, логических и количественных предикатов. (Результаты и обсуждение) Показали, что современные принципы математического моделирования базируются на основных положениях теории множеств, графов и математической логики. Отметили, что из всех рассматриваемых пространств производственных систем, описывающих сборочные технологические процессы, с проблемой обеспечения заданной точности замыкающего звена в той или иной реальной размерной цепи наиболее тесно связано пространство предикатов механизма и технологической системы. В результате осуществления сборочного технологического процесса в общем случае детали или узлы преобразуются в связанную систему декартовых тел с ограниченным количеством степеней свободы. Математическое моделирование технологических процессов сборки на уровне количественных предикатов отличается наименьшей степенью реагирования, но зато дает описание в более строгом математическом виде, позволяющем осуществлять вполне обоснованную оптимизацию точностных параметров и методов выполнения технологических приемов, которые обеспечивают однозначную оптимизацию. Прикладное значение моделирования на уровне количественных предикатов существенно выше, чем описание на уровнях структурных и логических свойств и отношений. (Выводы) Математическое моделирование сборочных технологических процессов при кибернетическом подходе на уровнях множественных, логических и количественных предикатов обеспечивает наилучшую адекватность и прикладную значимость в случае построения аналитических моделей.*

Ключевые слова: *машиностроение, ремонтное производство, сборка, изделие, механизм, моделирование, матрица, абстрагирование.*

Для цитирования: *Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х., Губжоков Х.Л., Фиапшев А.Г. Математическое моделирование технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 65-74. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-65-74. GKSKXJ.*

Mathematical model of technological assembly processes in machine-building and repair production

Aslan K. Apazhev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Yuriy A. Shekikhachev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Taimira Kh. Pazova, Dr.Sc.(Eng.), associate professor;
Khusen L. Gubzhokov, Ph.D.(Eng.);
Amur G. Fiapshev, Ph.D.(Eng.)s, associate professor
Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova,
Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation

Abstract. *In a logical representation, the technological process of assembling any mechanism or assembly, including the crank mechanism of the engine, can always be considered as one of the forms of displaying functional and constructive signs of searching for some objective function. (Research purpose) The research purpose is substantiating the effectiveness of original approaches to mathematical modeling of assembly processes in machine-building and repair industries. (Materials and methods) Conducted research using complete information about the modeling object as part of a unified system of mathematical modeling of assembly processes formed at the levels of abstraction of structure, logical and quantitative predicates. (Results and discussion) It has been shown that modern principles of mathematical modeling are based on the basic provisions of the theory of sets, graphs and mathematical logic. It was noted that of all the considered spaces of production systems describing assembly technological processes, the space of predicates of the mechanism and technological system is most closely related to the problem of ensuring a given accuracy of the closing link in a particular real dimensional chain. As a result of the assembly process, in general, parts or assemblies are transformed into a connected system of Cartesian bodies with a limited number of degrees of freedom. Mathematical modeling of assembly processes at the level of quantitative predicates is characterized by the least degree of response, but it gives a description in a more rigorous mathematical form that allows for a well-founded optimization of accuracy parameters and methods of performing technological techniques that provide unambiguous optimization. The applied value of modeling at the level of quantitative predicates is significantly higher than the description at the levels of structural and logical properties and relationships. (Conclusions) Mathematical modeling of assembly technological processes with a cybernetic approach at the levels of multiple, logical and quantitative predicates provides the best adequacy and applied significance in the case of building analytical models.*

Keywords: *mechanical engineering, repair production, assembly, product, mechanism, modeling, matrix, abstraction.*

For citation: *Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Pazova T.Kh., Gubzhokov Kh.L., Fiapshev A.G. Matematicheskoye modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov sborki v mashinostroitel'nom i remontnom proizvodstve [Mathematical*

model of technological assembly processes in machine-building and repair production]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 65-74 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-65-74. GKSKXJ.

Введение. Современные принципы математического моделирования технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве базируются на основных положениях теории множеств, графов и математической логики. Такой подход, во-первых, допускает необходимую степень абстрагирования при общем рассмотрении всего комплекса производственных отношений, направленных на превращение исходных, в ряде случаев элементарных деталей, в готовое изделие, и во-вторых устанавливает на достаточно высоких уровнях описание общих закономерностей получения объектов и изменений их предикатов (свойств и отношений) [1-6]. При этом без какой-либо конкретизации под комплексом производственных отношений будем подразумевать весь состав технологических операций, оборудования, инструмента, элементов базирования, соединений и т. д. Подобная постановка математической интерпретации технологического процесса сборки предполагает совместное взаимодействие основных конструкторско-технологических и других производственных пространств, а именно:

- пространства $M=\{M_0,M_1, M_2,...,M_n\}$ элементов конструкции механизма;
- пространства $E=\{E_1, E_2,...,E_m\}$ элементов организационно-технологической системы (режущего и вспомогательного инструмента, оборудования, средств механизации и другой технологической оснастки);
- пространства $H=\{\eta_1, \eta_2,...,\eta_к\}$ технологических операций, приемов, установок, позиций, переходов и т. п.;
- пространства $П=\{\pi_1, \pi_2,...,\pi_g\}$ предикатов механизмов и технологической системы.

Цель исследования – обосновать оригинальные подходы к математическому моделированию технологических процессов сборки в машиностроительном и ремонтном производстве.

Материалы и методы. Основой для исследования стала полная информация об объекте моделирования в составе единой системы математического моделирования технологических процессов сборки, формирующаяся на трех уровнях абстрагирования: структуре, логических и количественных предикатов. Наиболее высокими корнями абстрагирования служат первые два, причем если математическую основу уровня структурных предикатов составляет теория множества и графов, то для второго уровня основной математический аппарат – теория математической логики, позволяющая установить влияние входных параметров модели (причин) на выходные результаты (следствия), т. е. описывающая причинно-следственные связи между элементами и свойствами предмета моделирования [7-12].

Оба уровня абстрагирования, хотя и являются самостоятельными, в то же время взаимодействуют всегда совместно и органически дополняют друг друга.

Результаты и обсуждение. Очевидно, что любые изделия и механизмы могут быть представлены как единое целое или в виде совокупности отдельных подборок, каждая из которых, как и изделие в целом, может рассматриваться в виде некоторого графа *G(M,C)*. Дуги такого графа имитируют связи между элементами конструкции и являются не чем иным, как элементами следующей булевой матрицы бинарных отношений, формально описывающей структурные предикаты:

Абстрагированное представление о полном комплексе преобразования элементов, контуров и т. п. в сборное изделие будет достаточно сложным

только в том случае, когда все пространства производственной системы будут формализованы аналогичными матрицами булевых переменных и затем для каждой из них будет осуществлен переход от элементов множеств вида (1) к логическим переменным.

$$[\mathrm{M}=\mathrm{M}] = \left\| \mathrm{M}_{i(j)} \right\| = \begin{bmatrix} \mathrm{M}_1 & \mathrm{M}_2 & \dots & \mathrm{M}_{\text{п}} \\ \mathrm{M}_{1(1)} & \mathrm{M}_{1(2)} & \dots & \mathrm{M}_{1(\text{п})} \\ \mathrm{M}_{2(1)} & \mathrm{M}_{2(2)} & \dots & \mathrm{M}_{2(\text{п})} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathrm{M}_{\text{п}(1)} & \mathrm{M}_{\text{п}(2)} & \dots & \mathrm{M}_{\text{п}(\text{п})} \end{bmatrix} \begin{matrix} \mathrm{M}_1 \\ \mathrm{M}_2 \\ \dots \\ \mathrm{M}_{\text{п}} \end{matrix} \tag{1}$$

Из всех рассматриваемых пространств производственных систем, описывающих сборочные технологические процессы, с проблемой обеспечения заданной точности замыкающего звена в той или иной реальной размерной цепи наиболее тесно связано пространство предикатов механизма и технологической системы. Тогда для него можно показать, что искомая матрица имеет вид:

$$[\Pi(\mathrm{M}) = \Pi(\mathrm{M})] = \left\| \Pi_{i(j)} \right\| = \begin{bmatrix} \Pi_1 & \Pi_2 & \dots & \Pi_q \\ \Pi_{1(1)} & \Pi_{1(2)} & \dots & \Pi_{1(q)} \\ \Pi_{2(1)} & \Pi_{2(2)} & \dots & \Pi_{2(q)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{q(1)} & \Pi_{q(2)} & \dots & \Pi_{q(q)} \end{bmatrix} \begin{matrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \dots \\ \Pi_q \end{matrix} \tag{2}$$

а переход к логической переменной представляется как:

$$\Pi_i = \{1, \text{ если } V_{\rho j} \in R_j \, (2\delta\tau \le 2\,\delta_j) \tag{3}$$

где V,∈ – кванторы соответственно общности и существования; ρj – точностной параметр рассматриваемого контура изделия; R_j – множество параметров контура П; $2\,\delta\tau$ – технологический (фактический) полигон рассеяния погрешностей точностного параметра; $2\delta j$ – поле допуска и точностной параметр ρj.

Наборы логических отношений между предикатами П(М) и элементами строк и столбцов матрицы (3) при этом записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} &\{\xi' \Pi(\mathrm{M})\, V\, \xi\Pi(\mathrm{M}) = \xi(\Pi_{1(i)},\ \Pi_{2\,(i)}, \dots, \Pi_{q\,(i)})\} \\ &\{\xi'' \Pi(\mathrm{M})\, V\, \xi\Pi(\mathrm{M}) = \xi(\Pi_{i(1)},\ \Pi_{i(2)}, \dots, \Pi_{i(q)})\}, \end{aligned} \tag{4}$$

Таким образом, в логическом представлении технологический процесс сборки любого механизма или узла, в том числе и кривошипно-шатунного механизма двигателя, всегда может рассматриваться как одна из форм отображения функциональных и конструктивных признаков поиска некоторой целевой функции вида:

$$\Phi' \in \Phi M, \tag{5}$$

где $M=\{M_1, M_2,\dots,M_n\}$ – то же множество элементов конструкций механизма, а также обеспечения заданных геометрических связей между отдельными элементами. В результате осуществления сборочного технологического процесса в общем случае детали или узлы преобразуются в связанную систему декартовых тел с ограниченным количеством степеней свободы.

Действительно, синтез и конструктивное исполнение механизмов всегда основываются на таком геометрическом представлении их, которое включает необходимое для обеспечения заданной работоспособности механизма количество механических связей, ограничивающих как поступательные, так и вращательные нефункциональные перемещения [13-19].

Очевидно, что для ограничения всех шести степеней свободы требуется

по крайней мере шесть установочных (ограничивающих) базовых элементов, предотвращающих поступательные перемещения детали в направлениях положительных и отрицательных полуосей координат *x, y, z* и столько же баз, ограничивающих вращательное движение относительно тех же осей. Иначе, если осуществить переход к нулевым переменным вида:

$W_i^{(1)} = W_i^{(2)} = \{1\}$, если ограничения существует;

где W_i=*x, y, z,* то для абсолютно свободной в пространстве детали будем иметь следующую формальную матрицу:

$x^{(1)}$	$x^{(2)}$	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$z^{(1)}$	$z^{(2)}$	x'	x''	y'	y''	z'	z''
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

а для полностью ограниченной:

$x^{(1)}$	$x^{(2)}$	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$z^{(1)}$	$z^{(2)}$	x'	x''	y'	y''	z'	z''
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Здесь индексы (1) и (2) определяют ограничения поступательному нагружению в направлении соответственно положительной и отрицательной полуоси, а один и два штриха – ограничения вращению детали по часовой или против часовой стрелки при повороте вокруг осей координат.

Следовательно, для сборки реальных механизмов вид этой матрицы в булевых переменных будет представлять собой упорядоченное сочетание тех или других условных ограничений.

Другим важным этапом математического моделирования служит описание в общем виде и последующая конкретизация для частных случаев возможных функциональных и паразитных (возникающих в результате воздействия первичных производственных погрешностей) перемещений тех деталей, точность и последовательность сборки которых моделируется. Таким описаниям всегда предшествует структурный анализ конструктивных элементов, их кинематических и других свойств собранного механизма. При этом все конструктивные элементы разделяются на монолитные и сборные функциональные. К первым из них относятся такие, которые реализуют то или иное подмножество целевых функций $\Phi_{Mi} \leq \Phi_M$, а ко вторым те, каждые из которых в отдельности подобной реализации не обеспечивают, однако совокупность их реализует подмножество искомых целевых функций. Тогда любое материальное изделие или механизм может рассматриваться как некоторое объединение, включающее в себя как монолитные, так и сборные конструктивные элементы, т. е.:

$$\underset{i,j}{N}(\Phi_{M_i}, \Phi_{M_j}) = \Phi_M, \qquad (6)$$

где *N*– общее количество функциональных элементов.

Перемещение любого элемента из этого объединения на практике представляет собой результат взаимодействия составляющих пространств организационно-технологической системы и технологических операторов, под которыми понимается часть технологического процесса, при реализации которого изготовленное изделие приобретает некоторое требуемое свойство. Иначе, если в булевых переменных принять, что:

$\eta_K = \{1$, если реализация оператора возможна;

то при $r_к=1$ тот или иной рассматриваемый элемент изделия переходит из

своего начального состояния в строго определенное конечное или промежуточное.

Естественно, что всякий такой переход в сборочном технологическом процессе обязательно сопровождается перемещением детали в пространстве, которые в декартовой системе координат однозначно определяются уравнениями:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 M_{01} + y_0 M_{02} + z_0 M_{03} + M_{04} \\ y_1 &= x_0 M_{11} + y_0 M_{12} + z_0 M_{13} + M_{14}, \\ z_1 &= x_0 M_{21} + y_0 M_{22} + z_0 M_{23} + M_{24}, \end{aligned} \tag{7}$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты, соответствующие начальному положению детали; x_1, y_1, z_1 – координаты, определяющие конечные или промежуточное положение детали.

После перехода к однородным координатам и очевидных преобразований система уравнений (7) в матричном виде может быть записана следующим образом:

$$[x_1][y_1][z_1] \tag{8}$$

Оператор этой матрицы вида:

$$\| D \| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & . & M_{04} \\ 0 & 1 & 0 & . & M_{14} \\ 0 & 0 & 1 & . & M_{24} \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

однозначно определяет поступательные перемещения деталей при сборке по координатным осям, *а*:

$$\| D \| = \begin{bmatrix} M_{01} & M_{02} & M_{03} & . & 0 \\ M_{11} & M_{12} & M_{13} & . & 0 \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & 0 \end{bmatrix} \tag{10}$$

При нулевых поступательных перемещениях описывают вращательные снижения вокруг своей оси.

При формализации всех возможных перемещений деталей во время сборки конкретного механизма вид оператора будет представлять собой упорядоченное сочетание булевых переменных, значения которых соответствуют реальным конструктивным исполнениям собираемых механизмов.

Математическое моделирование технологических процессов сборки на уровне количественных предикатов представляет собой заключительный этап построения моделей. Оно отличается наименьшей степенью реагирования, но зато дает описание в более строгом математическом виде, позволяющем осуществлять вполне обоснованную оптимизацию как точностных параметров, так и методов выполнения технологических приемов, которые обеспечивают однозначную оптимизацию. Прикладное значение моделирования на уровне количественных предикатов существенно выше, чем описание на уровнях структурных и логических свойств и отношений.

Сущность количественного математического моделирования сводится к

построению общих и частных алгоритмов выполнения ответственных технологических операций по разработке статистических, теоретико-вероятностных и аналитических моделей конкретных сборочных процессов. При этом ко всем видам таких моделей предъявляются требования возможно большей адекватности ее моделируемому процессу, чувствительности, стабильности и непрерывности.

Очевидно, что наиболее полно указанным требованиям удовлетворяют аналитические модели, и особенно в тех случаях, когда полученные математические зависимости представляются в виде непрерывных и по крайне мере дважды дифференцируемых функций. Последнее обстоятельство оказывается исключительно важным и представляет в классическом понимании возможность строгой оптимизации моделей методами математического анализа.

Выводы. Математическое моделирование сборочных технологических процессов при кибернетическом подходе на уровнях множественных, логических и количественных предикатов обеспечивает наилучшую адекватность и прикладную значимость в случае построения дважды дифференцируемых аналитических моделей.

Библиографический список

1. Кузьмин В.В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения. М: Высшая школа. 2008. 279 с.

2. Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Захарин А.В., Жевора Ю.И., Павлюк Р.В., Зубенко Е.В., Марьин Н.А., Доронина Н.П., Искендеров Р.Р., Панух М.Л., Шумский А.С. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном обслуживании. Ставрополь. 2020. 96 с.

3. Завражнов А.И., Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Захарин А.В. Входной контроль качества запасных частей как метод повышения надежности МТА // Наука в центральной России. 2021. N3(51). С. 68-78.

4. Shekikhachev Y., Batyrov V., Shekikhacheva L., Balkarov R., Noraliev N. Probability-theoretical approach to the accuracy of the component assembly of multilink mechanisms. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. 01031.

5. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I. Technological support for the accuracy of the assembly of mechanisms. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679(4). 042062.

6. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Egozhev A.M., Shekikhacheva L.Z., Egozhev A.A. Improving the durability of machine parts connections. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862(3). 032005.

7. Lebedev P.A., Lebedev A.T., Pavlyk R.V., Zakharin A.V. Improving the reliability of machine and tractor units in technological processes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 996(1). 012004.

8. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A.G., Chayka Ye.A., Asaturyan S.V., Kozlov D. Methodology for assessing the efficiency of measures for the operational management of the technical systems' reliability. XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Vol. 1. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. 13-20.

9. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A., Zhurba V.V., Asaturyan S.V., Dagldiyan A.A. Operational management of reliability of technical systems in the agro-industrial complex. XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. 2022. Vol. 1. 79-87.

10. Pavlyuk R.V., Lebedev A.T., Zhevora Y.I., Zubenko E.V. The reliability analysis of

combined harvesters in the usual conditions of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 012033.

11. Лебедев А.Т., Серегин А.А., Арженовский А.Г. Совершенствования методов оперативного управления надежностью технических систем в АПК // Тракторы и сельхозмашины. 2020. N1. С. 71-76.

12. Lebedev A., Lebedev P., Zakharin A., Maryin N., Zhevora Y. Improving the reliability of plunger pairs of diesel engines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 012058.

13. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. N3(36). С. 40-45.

14. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз) // Технический сервис машин. 2019. Т. 57. N4. С. 220-229.

15. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

16. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие напалвочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N1. С. 27-31.

17. Дорохов А.С. Компьютерное зрение как инструмент системы управления технологическими процессами // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина. М.: ВИМ. 2013. С. 355-357.

18. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Методика моделирования оценки эффективности входного контроля качества // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина. 2009. N8-1(139). С. 30-33.

19. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. С. 34-37.

References

1. Kuz'min V.V. Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov sborki i mekhanicheskoi obrabotki izdelii mashinostroeniya [Mathematical modeling of technological processes of assembly and mechanical processing of mechanical engineering products]. M: Vysshaya shkola. 2008. 279 (In Russian).

2. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Zakharin A.V., Zhevora Yu.I., Pavlyuk R.V., Zubenko E.V., Mar'in N.A., Doronina N.P., Iskenderov R.R., Panukh M.L., Shumskii A.S. Tekhnologiya i organizatsiya vosstanovleniya detalei i sborochnykh edinits pri servisnom obsluzhivanii [Technology and organization of restoration of parts and assembly units during service]. Stavropol'. 2020. 96 (In Russian).

3. Zavrazhnov A.I., Lebedev A.T., Lebedev P.A., Zakharin A.V. Vkhodnoi kontrol' kachestva zapasnykh chastei kak metod povysheniya nadezhnosti MTA [Input quality control of spare parts as a method of improving the reliability of MTU]. Nauka v tsentral'noi Rossii. 2021. N3(51). 68-78 (In Russian).

4. Shekikhachev Y., Batyrov V., Shekikhacheva L., Balkarov R., Noraliev N. Probability-theoretical approach to the accuracy of the component assembly of multilink mechanisms. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. 01031.

5. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I. Technological support for the accuracy of the assembly of mechanisms. Journal of Physics: Conference Series. 2020.

Vol. 1679(4). 042062.

6. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Egozhev A.M., Shekikhacheva L.Z., Egozhev A.A. Improving the durability of machine parts connections. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862(3). 032005.

7. Lebedev P.A., Lebedev A.T., Pavlyk R.V., Zakharin A.V. Improving the reliability of machine and tractor units in technological processes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 996(1). 012004.

8. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A.G., Chayka Ye.A., Asaturyan S.V., Kozlov D. Methodology for assessing the efficiency of measures for the operational management of the technical systems' reliability. XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Vol. 1. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. 13-20.

9. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A., Zhurba V.V., Asaturyan S.V., Dagldiyan A.A. Operational management of reliability of technical systems in the agro-industrial complex. XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. 2022. Vol. 1. 79-87.

10. Pavlyuk R.V., Lebedev A.T., Zhevora Y.I., Zubenko E.V. The reliability analysis of combined harvesters in the usual conditions of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 012033.

11. Lebedev A.T., Seregin A.A., Arzhenovskii A.G. Sovershenstvovaniya metodov operativnogo upravleniya nadezhnost'yu tekhnicheskikh sistem v APK [Improving the methods of operational reliability management of technical systems in the agro-industrial complex]. Traktory i sel'khozmashiny. 2020. N1. 71-76 (In Russian).

12. Lebedev A., Lebedev P., Zakharin A., Maryin N., Zhevora Y. Improving the reliability of plunger pairs of diesel engines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 012058.

13. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

14. Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (forecast)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4. 220-229 (In Russian).

15. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

16. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Vaynerman A.E., Pichuzhkin S.A., Golosienko S.A., Chernobaev S.P., Yurkov M.A. Novye iznosostoykie napalvochnye materialy v sel'skokhozyaystvennom mashinostroenii [New wear-resistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N1. 27-31 (In Russian).

17. Dorokhov A.S. Komp'yuternoe zrenie kak instrument sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Computer vision as a tool of the process control system]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya osnovopolozhnika zemledel'cheskoy mekhaniki V.P. Goryachkina. Moscow: VIM. 2013. 355-357 (In Russian).

18. Semeykin V.A., Dorokhov A.S., Metodika modelirovaniya otsenki effektivnosti vkhodnogo kontrolya kachestva [Methodology for modeling the evaluation of the effectiveness of input quality control]. Vestnik Moskovskiy gosudarstvennyy

agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina. 2009. N8-1(139). 30-33 (In Russian).
19. Dorokhov A.S. Vliyanie razmerov v pole dopuska na resurs izdeliy [The effect of dimensions in the tolerance field on the resource of products]. Gruzovik. 2013. N 8. 34-37 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов
Апажев А.К. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, участие в обсуждении материалов статьи;
Шекихачев Ю.А. – разработка математической модели сборочных технологических процессов, участие в обсуждении материалов статьи;
Пазова Т.Х. – разработка методики исследований, участие в обсуждении материалов статьи;
Губжоков Х.Л. – обработка результатов исследований, участие в обсуждении материалов статьи.
Фиапшев А.Г. – поиск материалов в отечественных и зарубежных источниках, участие в обсуждении материалов статьи.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors
Apazhev A.K. – scientific guidance, formulation of the main directions of research, participation in the discussion of the manuscript;
Shekikhachev Yu.A. – development of a mathematical model of assembly technological processes, participation in the discussion of the manuscript;
Pazova T.Kh. – development of research methodology, participation in the discussion of the manuscript;
Gubzhokov Kh.L. – processing of research results, participation in the discussion of the manuscript.
Fiapshev A.G. – search for materials in domestic and foreign sources, participation in the discussion of the manuscript.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-75-82 УДК 631.3

Ресурсосберегающая система утилизации сельскохозяйственной техники как одно из важнейших направлений укрепления технического потенциала агропромышленного комплекса

Юрий Владимирович Катаев, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: ykataev@mail.ru;
Валерий Сергеевич Герасимов, ведущий специалист;
Игорь Александрович Тишанинов, младший научный сотрудник;
Евгений Анатольевич Градов, младший научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящей работе рассмотрели вопросы необходимости создания эффективной системы утилизации сельскохозяйственной техники, поскольку в настоящее время в агропромышленном комплексе эксплуатируется значительное количество устаревшей сельскохозяйственной техники, в том числе энергонасыщенной, которую необходимо либо восстанавливать, либо утилизировать. (Цель исследования) Выявить необходимость и целесообразность создания системы утилизации сельскохозяйственной техники, обосновать структуру финансовых ресурсов для ее создания, а также рассмотреть вопрос предельного состояния машин, находящихся в эксплуатации за пределами сроков службы, для принятия решений об их ремонте, модернизации либо утилизации. (Материалы и методы) Предложили методику подсчета величины финансовых ресурсов, необходимых для создания системы утилизации сельскохозяйственной техники, а также основные критерии определения предельного состояния основных узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники, устанавливающие границу целесообразности проведения ремонта, модернизации либо утилизации конкретной машины, определили методологические подходы для решения данного вопроса. (Результаты и обсуждение) Выявили, что определяющим этапом в создании системы утилизации выведенной из эксплуатации техники стал 2012 год, когда был введен утилизационный сбор на колесную технику. Средства от этого сбора предполагалось использовать на формирование системы утилизации техники. (Выводы) Как показывает практика и проведенные учеными ФНАЦ ВИМ исследования, решение этой важнейшей для сельского хозяйства России задачи носит комплексный характер, в том числе технический, технологический, финансово-экономический и экологический. Решение указанных основных факторов позволит в ближайшее 2-3 года создать в агропромышленном комплексе эффективную систему утилизацию сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *методика, рециклинг, утилизация, утилизационный сбор, сельскохозяйственная техника, ремонт, экология, информация.*

Для цитирования: *Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Ресурсосберегающая система утилизации сельскохозяйственной техники как одно из важнейших направлений укрепления технического потенциала агропромышленного комплекса // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 75-82. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-75-82. КТНОМР.*

Resource-saving system of recycling of agricultural machinery as one of the most important directions for strengthening the technical potential of the agro-industrial complex

Yuriy V. Kataev, Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher;
Valeriy S. Gerasimov, leading specialist;
Igor' A. Tishaninov, junior researcher;
Evgeniy A. Gradov, junior researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *In this paper, the issues of the need to create an effective system for the disposal of agricultural machinery have been considered, since at present a significant amount of obsolete agricultural machinery, including energy-saturated, is being operated in the agro-industrial complex, which must either be restored or disposed of. (Research purpose) The research purpose is identifying the necessity and expediency of creating a system for the disposal of agricultural machinery, justifying the structure of financial resources for its creation, as well as considering the issue of the limiting condition of machines in operation beyond their service life, for making decisions about their repair, modernization or disposal. (Materials and methods) Proposed a methodology for calculating the amount of financial resources needed to create a system for the disposal of agricultural machinery, as well as the main criteria for determining the limit state of the main components and aggregates of agricultural machinery, setting the limit of the feasibility of repair, modernization or disposal of a particular machine, identified methodological approaches to address this issue. (Results and discussion) It was revealed that the defining stage in the creation of a system for the disposal of decommissioned equipment was 2012, when the recycling fee for wheeled vehicles was introduced. The funds from this collection were supposed to be used for the formation of a system for the disposal of equipment. (Conclusions) As practice and research conducted by scientists of FNAC VIM shows, the solution of this most important task for agriculture in Russia is of a complex nature, including technical, technological, financial, economic and environmental. The solution of these main factors will allow in the next 2-3 years to create an effective system for the disposal of agricultural machinery in the agro-industrial complex.*

Keywords: *methodology, recycling, utilization, recycling fee, agricultural machinery, repair, ecology, information.*

For citation: *Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Resursosberegayushchaya sistema utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki kak odno iz vazhneyshikh napravleniy ukrepleniya tekhnicheskogo potentsiala agropromyshlennogo kompleksa [Resource-saving system of recycling of agricultural machinery as one of the most important directions for strengthening the technical potential of the agro-industrial complex]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 75-82 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-75-82. КТНОМР.*

Введение. Решение о введении 1 сентября 2012 г. утилизационного сбора на колесную технику позволило провести ряд разработок по созданию эффективной системы утилизации мобильной сельскохозяйственной техники (СХТ), поскольку средства от этого сбора предполагалось использовать на формирование данной системы. В настоящее время вся доходная часть от утилизации техники в основном достается предприятиям (фирмам), не связанным ни с ее производством, ни с ее потребителями. В основном эти предприятия (фирмы) по сути дела занимаются заготовкой и сбытом только метал-

лических частей машин. Как показал анализ деятельности «утилизаторов», они не соблюдают даже имеющиеся требования к этим видам работ [1-3].

Отметим, что утилизационный сбор – переменная величина, которая зависит от состояния отраслевой системы утилизации. Крайне важным фактором, тормозящим создание эффективной системы утилизации СХТ, служит отсутствие до настоящего времени принципов и стратегии, не разработаны программные документы, в том числе нормативно-законодательные акты, в которых были бы сфокусированы основные этапы формирования системы утилизации СХТ, права и обязанности каждой из сторон, участвующих в процессе создания системы.

Цель исследования – выявить необходимость и целесообразность создания системы утилизации сельскохозяйственной техники, обосновать структуру финансовых ресурсов для ее создания, а также рассмотреть вопрос предельного состояния машин, находящихся в эксплуатации за пределами сроков службы, для принятия решений об их ремонте, модернизации либо утилизации.

Материалы и методы. Предельное состояние машины – это состояние, при котором ее дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна. В таком случае восстановление ее до исправного или работоспособного состояния невозможно и экономически невыгодно [4].

Определение предельного состояния узлов и агрегатов сложной сельскохозяйственной техники и установление критериев, определяющих границу целесообразности проведения того или иного технического воздействия, представляет собой сложную технико-экономическую задачу, требующую необходимого методологического подхода. Если рассматривать конкретную деталь, то основные параметры ее старения и момент достижения предельного состояния можно определить с достаточной степенью точности [5].

Требуется лишь информация, связывающая величину износа детали U с ее наработкой и выработанным ресурсом T, и данными о предельном износе $U_{пр}$.

Таким образом, определяем вероятность безотказной работы $P(t)= 1-F(t)$, математическое ожидание $M(t)$ (средний срок службы детали):

$$M(t) = T_{\text{пр ср}} = \int_0^{\infty} f(t)\,d(t) = \int_0^{\infty} P(t)\,d(t) \qquad (1)$$

и дисперсию D или среднее квадратическое отклонение $б = \sqrt{D}$:

$$D = \int_0^{\infty} . \qquad (2)$$

Метод определения характеристик известного закона распределения приведен в курсе теории вероятности и не представляет принципиальных сложностей [6].

Задача определения момента достижения границы предельного состояния машины носит более сложный характер. Это связано с тем, что современная техника, в том числе СХТ, представляет собой сложный объект и состоит из десятков тысяч различных деталей, которые в разной степени влияют на изменение технического состояния машины. Ученые инженерной сферы АПК неоднократно проводили исследования и экспериментальные работы по данной теме, отражающие параметры технического состояния СХТ [7-9].

Предложенная модель определяет увеличение остаточной стоимости машины, пришедшей на ремонтное предприятие с потерей годности $Г_i \approx 0,5$ до нормативного значения потери годности $Г_i = 0,8$, что составит около 25% от стоимости новой машины ($\Delta C_{ост} \approx 0,25$) (*рис. 1*). При этом ремонт такой машины обойдется заказчику в 67% от цены новой машины. Эти данные по-

зволяют сделать вывод о том, что $Ц_{рм} > \Delta C_{ост}$. Владея такой информацией, владелец техники определяет один из вариантов решения: ремонт машины, ее модернизация или утилизация.

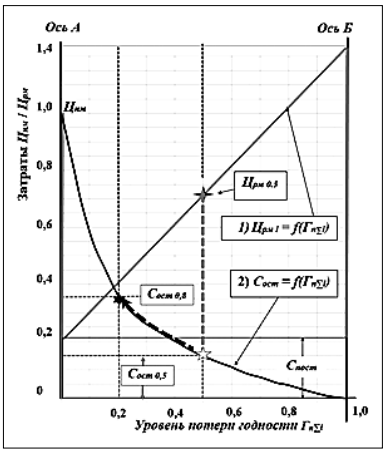


Рис. 1. Графическая интерпретация технико-экономической модели принятия решения о дальнейшем использовании машины, находящейся на границе предельного состояния после проведения капитального ремонта

Предлагаемая технико-экономическая модель может быть использована собственниками техники при определении целесообразности дальнейшей эксплуатации машин, у которых превышен срок амортизации. Наличие информации о стоимости ремонтных работ, куда входит стоимость и новых, и восстановленных деталей, гораздо быстрее позволяет принимать решения о ремонте или утилизации машины, что обеспечивает своевременное обновление машинно-тракторного парка (МТП) [10, 11].

Результаты и обсуждение. Рассмотрим структуру утилизационного сбора $Q_{УСб}$, когда требуется сформировать систему утилизации техники с самой начальной стадии. В этом случае величина утилизационного сбора должна обеспечить финансирование всех входящих в нее компонентов и быть не меньше величины финансовых ресурсов, которые необходимы для создания отраслевой системы утилизации СХТ (*рис. 2*), т. е.:

$$Q_{УСб}^{max} = \sum Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5 \geq ВФР^{max}, \quad (3)$$

где Q_1 – затраты на создание инфраструктуры системы утилизации СХТ; Q_2 – затраты изготовителя машин на разработку нормативно-технологической документации для проведения утилизации выпускаемый техники; Q_3 – затраты на осуществление всех циклов утилизации на специализированных предприятиях инженерной системы АПК и других отраслей народного хозяйства; Q_4 – затраты на рециклинг отходов; Q_5 – доходы от использования рециклируемых материалов в процессе утилизации СХТ. В создаваемую систему утилизации СХТ будут входить различные предприятия, которые выполняют свои определенные функции, и часто их деятельность проходит автономно. Подбор необходимых предприятий определяется технологией утилизации и видами работ, которые проводят участники утилизации сельскохозяйственной техники [12-15].

Для обеспечения эффективного функционирования системы утилизации СХТ необходимо создать определенное число различных типов предприятий (демонтажеров) и переработчиков, которые будут постоянно входить в состав создаваемой системы. Реализацию восстановления изношенных деталей, поток которых выявляется в процессе утилизации СХТ, целесообраз-

но организовывать непосредственно на специализированных ремонтно-технических предприятиях инженерной сферы АПК. Создание этих участков потребует минимальных затрат, так как технологические процессы обработки изделий почти одинаковы для восстанавливаемых деталей и новых, изготовляемых из первичных ресурсов. Задачу по максимальному использованию всей гаммы вторичных ресурсов утилизируемой СХТ могут успешно решать ремонтно-технические предприятия инженерной сферы АПК.

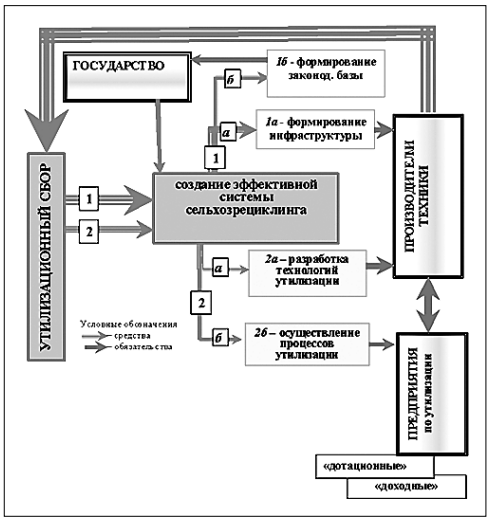


Рис. 2. Модель формирования эффективной системы «Сельхозрециклинг»

Как показывает практика проведения утилизации как в России, так и за рубежом, проблема эффективного функционирования системы утилизации техники должна решаться комплексно без создания отраслевых границ, но с учетом специфики технологий утилизации и переработки компонентов, свойственной конкретным видам машин. В основе разработки системы утилизации техники должна лежать стратегия ее развития. Главный элемент стратегии – модель ее поэтапного развития, определяющая оптимальные сроки разработки всех подсистем. Необходимо установить сроки формирования системы и годовые объемы утилизации машин, которые будут определять интенсивность роста мощности системы утилизации.

Одной из серьезных проблем, которая может возникнуть при формировании и функционировании системы утилизации СХТ, – это отсутствие или недостаточное количество предприятий, способных переработать необходимые объемы рециклируемых материалов утилизированной техники. Например, продукция шинопереработки не всегда находит потребителей, что приводит к снижению производительности этих предприятий и снижению заинтересованности инвесторов к созданию таких производств. Очень важной задачей при формировании системы утилизации СХТ служит разработка и реализация нормативно-законодательной базы, обеспечивающей четкую работу механизма накопления и расходования фонда утилизационного сбора, а также определение начальной величины сбора и динамики его снижения [16, 17].

Производители техники должны обязательно входить в состав участников утилизационного процесса выпускаемой ими продукции.

Выводы. Предлагаемые в работе технико-экономические модели по определению целесообразности ремонта или утилизации сельскохозяйственной техники, которая уже эксплуатируется за пределами срока амортизации, а также методика определения структуры финансовых ресурсов для создания

отраслевой системы утилизации СХТ «Сельхозрециклинг» могут быть использованы собственниками техники, специализированными ремонтными предприятиями АПК.

Разработка и реализация единой стратегии утилизации сельскохозяйственной техники гарантирует получение положительного эффекта для всех участников этого проекта, поэтому функционирование ресурсосберегающей и экоголоориентированной системы «Сельхозрециклинг» в АПК бесспорно даст возможность стабилизировать машинно-тракторный парк и значительно улучшить экологическую обстановку в сельском хозяйстве.

Библиографический список

1. Об утверждении Правил обращения с ломом и отходами черных металлов и их отчуждения: постановление Правительства Рос. Федерации от 11 мая 2001 г. N369.

2. Алдошин Н.В., Ивлев А.А., Лесконог Ю.А., Лылин Н.А. Утилизация техники в системе АПК. М.: ООО «УМЦ «Триада». 2014. 222 с.

3. Об утверждении Правил обращения с ломом и отходами цветных металлов и их отчуждения: постановление Правительства Рос. Федерации от 11 мая 2001 г. N370.

4. Игнатов В.И. Технико-экономическое обоснование принятия решения о целесообразности проведения ремонта или утилизации техники // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2016. N8. С. 32-42.

5. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В., Соломашкин А.А. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // Техника и оборудование для села. 2021. N9(291). С. 33-36.

6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука. 1969. 576 с.

7. Соломашкин А.А. Параметры технического состояния деталей машин // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 111-118

8. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. С. 34-37.

9. Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Роль датчиков в системе онлайн-мониторинга тракторов // Чтения академика В.Н. Болтинского: семинар. Москва: ООО «Сам Полиграфист». 2021. С. 162-168.

10. Катаев Ю.В., Малыха Е.Ф. Роль инженерно-технического обеспечения в сельскохозяйственном производстве // Наука без границ. 2018. N8(25). С. 19-23.

11. Конкин Ю.А., Малыха Е.Ф. Методические подходы к оценке износа и остаточной стоимости машин // Международный технико-экономический журнал. 2011. N2. С. 5-12.

12. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Трофименко Ю.В., Герасимов В.С., Петров Р.Л. Современные тенденции формирования системы рециклинга техники. М.: Перо. 2019. 557 с.

13. Алдошин Н.В. Стратегии сбора и транспортировки техники на утилизацию // Международный научный журнал. 2010. N1. С. 64-69.

14. Герасимов В.С., Игнатов В.И., Миклуш В.П. Подготовка вышедшей из эксплуатации техники к утилизации // Белорусское сельское хозяйство. 2015. N9. С. 110-112.

15. Алдошин Н.В., Митягин Г.Е., Кулдошина В.В., Джабраилов Л.М. Выбывшая из эксплуатации техника – источник вторичных ресурсов // Техника и оборудования для села. N5. 2008. С. 42-43.

16. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Мишина З.Н., Герасимов В.С. Способы поддержки жизненного цикла сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2018. N10. С. 40-43.

17. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Герасимов В.С., Денисов В.А. Методика определения величины утилизированного сбора для выведенной из эксплуатации самоходной техники // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. N1. С. 124-130.

References

1. Ob utverzhdenii Pravil obrashcheniya s lomom i otkhodami chernykh metallov i ikh otchuzhdeniya: postanovleniye Pravitel'stva Ros. Federatsii ot 11 maya 2001 g. N369 [On approval of the Rules for Handling Scrap and Waste of Ferrous Metals and their Alienation: Decree of the Government of the Russian Federation. Federation of May 11, 2001 N369] (In Russian).

2. Aldoshin N.V., Ivlev A.A., Leskonog Yu.A., Lylin N.A. Utilizatsiya tekhniki v sisteme APK [Disposal of equipment in the agro-industrial complex system]. Moscow: OOO «UMTs «Triada». 2014. 222 (In Russian).

3. Ob utverzhdenii Pravil obrashcheniya s lomom i otkhodami tsvetnykh metallov i ikh otchuzhdeniya: postanovleniye Pravitel'stva Ros. Federatsii ot 11 maya 2001 g. N370 [On Approval of the Rules for Handling Scrap and Non-ferrous Metal Waste and their Alienation: Decree of the Government of the Russian Federation. Federation of May 11, 2001 N370] (In Russian).

4. Ignatov V.I. Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye prinyatiya resheniya o tselesoobraznosti provedeniya remonta ili utilizatsii tekhniki [Feasibility study of making a decision on the feasibility of repairing or disposing of equipment]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2016. N8. 32-42 (In Russian).

5. Chernoivanov V.I., Denisov V.A., Katayev Yu.V., Solomashkin A.A. Novaya strategiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin [A new strategy for the maintenance and repair of machines]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2021. N9(291). 33-36 (In Russian).

6. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. Moscow: Nauka. 1969. 576 (In Russian).

7. Solomashkin A.A. Parametry tekhnicheskogo sostoyaniya detaley mashin [Parameters of the technical condition of machine parts]. Trudy GOSNITI. 2014. Vol. 116. 111-118 (In Russian).

8. Dorokhov A.S. Vliyaniye razmerov v pole dopuska na resurs izdeliy [The effect of dimensions in the tolerance field on the resource of products]. Gruzovik. 2013. N8. 34-37 (In Russian).

9. Dorokhov A.S., Katayev Yu.V. Rol' datchikov v sisteme onlayn-monitoringa traktorov [The role of sensors in the online tractor monitoring system]. Chteniya akademika V.N. Boltinskogo: seminar. Moskva: OOO «Sam Poligrafist». 2021. 162-168 (In Russian).

10. Katayev Yu.V., Malykha E.F. Rol' inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [The role of engineering and technical support in agricultural production]. Nauka bez granits. 2018. N8(25). 19-23 (In Russian).

11. Konkin Yu.A., Malykha E.F. Metodicheskiye podkhody k otsenke iznosa i ostatochnoy stoimosti mashin [Methodological approaches to the assessment of wear and residual value of machines]. Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskiy zhurnal. 2011. N2. 5-12 (In Russian).

12. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Trofimenko Yu.V., Gerasimov V.S., Petrov R.L. Sovremennyye tendentsii formirovaniya sistemy retsiklinga tekhniki [Modern trends in the formation of a recycling system of equipment]. Moscow: Pero. 2019. 557 (In Russian).

13. Aldoshin N.V. Strategii sbora i transportirovki tekhniki na utilizatsiyu [Strategies for collecting and transporting equipment for disposal]. Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2010. N1. 64-69 (In Russian).

14. Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Miklush V.P. Podgotovka vyshedshey iz ekspluatatsii tekhniki k utilizatsii [Preparation of decommissioned equipment for disposal]. Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo. 2015. N9. 110-112 (In Russian).

15. Aldoshin N.V., Mityagin G.E., Kuldoshina V.V., Dzhabrailov L.M. Vybyvshaya iz ekspluatatsii tekhnika – istochnik vtorichnykh resursov [Decommissioned equipment as a source of secondary resources]. Tekhnika i oborudovaniya dlya sela. N5. 2008. 42-43 (In Russian).

16. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Mishina Z.N., Gerasimov V.S. Sposoby podderzhki zhiznennogo tsikla sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Ways to support the life cycle of agricultural machinery]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2018. N10. 40-43 (In Russian).

17. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Gerasimov V.S., Denisov V.A. Metodika opredeleniya velichiny utilizirovannogo sbora dlya vyvedennoy iz ekspluatatsii samokhodnoy tekhniki [Methodology for determining the value of the disposed collection for decommissioned self-propelled vehicles]. Inzhenernyye tekhnologii i sistemy. 2019. Vol. 29. N1. 124-130 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Катаев Ю.В. – научное руководство, методика исследований;
Герасимов В.С. – подготовка и корректировка текста, анализ литературных источников;
Тишанинов И.А. – проведение экспериментальных исследований, обработка данных;
Градов Е.А. – техническое оформление статьи.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kataev Yu.V. – scientific guidance, research methodology;
Gerasimov V.S. – preparation of the manuscript, analysis of literary sources;
Tishaninov I.A. – conducting experimental research, data processing;
Gradov E.A. – technical design of the article.
All the authors have read and approved the final manuscript.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

(cc) BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-84-94 УДК 621.762.227

Повышение эффективности процесса восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой твердосплавных электроэрозионных материалов

[1]Екатерина Владимировна Агеева, доктор технических наук, профессор, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru;
[2]Владимир Исаевич Серебровский, доктор технических наук, профессор;
[1]Евгений Викторович Агеев, доктор технических наук, профессор;
[2]Владимир Алексеевич Кончин, аспирант
[1]Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация
[2]Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация

Реферат. *Использование порошков, полученных из отходов твердых сплавов в качестве высокотвердой дисперсной составляющей композиции для плазменно-порошковой наплавки, позволит повысить качество, надежность и долговечность плазменных покрытий рабочих органов почвообрабатывающих машин с минимумом затрат на порошковые материалы. Однако свойства данных плазменных покрытий изучены недостаточно, поэтому необходимо проведение комплексных исследований. (Цель исследования) Усовершенствовать технологию восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой порошковых материалов, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава марки Т30К4. (Материалы и методы) Использовали для получения плазменных покрытий твердосплавные порошки, изготовленные электродиспергированием отходов твердого сплава Т30К4 в керосине. Выбрали для объекта реновации стрельчатую лапу культиватора из листового проката стали 40ХС. Полученные плазменные покрытия исследовали с использованием современного оборудования и взаимодополняющих методов физического материаловедения. (Результаты и обсуждение) Разработали, апробировали и исследовали новую технологию восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин на примере стрельчатой лапы культиватора путем плазменно-порошковой наплавки твердосплавных электроэрозионных порошковых материалов. Подтвердили эффективность разработки свойствами плазменных покрытий: микроструктура покрытия имеет мелкозернистое строение, без включений, равномерное распределение фаз и отсутствие пор, трещин и несплошностей; элементы W, Ti и Co в покрытии распределены равномерно; присутствуют фазы карбидов WC и TiC; размер зерна покрытий составляет порядка 0,3 микрометров; микротвердость покрытий составляет порядка 14245 мегапаскалей. (Выводы) Результаты полевых испытаний показали, что ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин, восстановленных и упрочненных твердосплавными электроэрозионными материалами, выше ресурса новых деталей в 1,25 раза.*

Ключевые слова: *рабочий орган, восстановление и упрочнение, плазменно-порошковая наплавка, твердосплавные электроэрозионные порошки, свойства плазменных покрытий.*

Для цитирования*: Агеева Е.В., Серебровский В.И., Агеев Е.В., Кончин В.А. Повышение эффективности процесса восстановления и упрочнения*

рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой твердосплавных электроэрозионных материалов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 84-94. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-84-94. SMWJHI.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF RESTORATION AND HARDENING OF THE WORKING BODIES OF TILLAGE MACHINES BY PLASMA-POWDER SURFACING OF CARBIDE ELECTROEROSIVE MATERIALS

[1]Ekaterina V. Ageeva, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[2]Vladimir I. Serebrovskiy, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[1]Evgeniy V. Ageev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[2]Vladimir A. Konchin, postgraduate
[1]Southwest State University, Kursk, Russian Federation
[2]Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russian Federation

Abstract. *The use of powders obtained from solid alloy waste as a highly solid dispersed component of the composition for plasma-powder surfacing will improve the quality, reliability and durability of plasma coatings of working bodies of tillage machines with a minimum of costs for powder materials. However, the properties of these plasma coatings have not been studied enough, so it is necessary to conduct comprehensive studies. (Research purpose) The research purpose is improving the technology of restoration and hardening of the working bodies of tillage machines by plasma-powder surfacing of powder materials obtained by electroerosive dispersion of solid alloy waste T30K4. (Materials and methods) Carbide powders made by electrodispersing solid alloy waste T30K4 in kerosene were used to obtain plasma coatings. We chose for the renovation object a pointed cultivator paw made of 40XC rolled steel. The obtained plasma coatings were studied using modern equipment and complementary methods of physical materials science. (Results and discussion) We have developed, tested and investigated a new technology for restoring and strengthening the working bodies of tillage machines using the example of a pointed cultivator paw by plasma-powder surfacing of carbide electroerosive powder materials. The effectiveness of the development was confirmed by the properties of plasma coatings: the microstructure of the coating has a fine-grained structure, without inclusions, uniform phase distribution and the absence of pores, cracks and discontinuities; elements W, Ti and Co in the coating are evenly distributed; phases of carbides WC and TiC are present; the grain size of the coatings is about 0.3 micrometers; the microhardness of the coatings is about 14245 megapascals. (Conclusions) The results of field tests showed that the resource of the working bodies of tillage machines, restored and strengthened with carbide electroerosion materials, is 1.25 times higher than the resource of new parts.*

Keywords: *working body, restoration and hardening, plasma-powder surfacing, carbide electroerosive powders, properties of plasma coatings.*

For citation: *Ageyeva E.V., Serebrovskiy V.I., Ageyev E.V., Konchin V.A. Povysheniye effektivnosti protsessa vosstanovleniya i uprochneniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin plazmenno-poroshkovoy naplavkoy tverdosplavnykh elektroerozionnykh materialov [Improving the efficiency of restoration and hardening of the working bodies of tillage machines by plasma-*

powder surfacing of carbide electroerosive materials]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 84- 94 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-84-94. SMWJHI.

Введение. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» поставлена стратегическая задача укрепления производственной безопасности, которая напрямую связана с ресурсосбережением и импортозамещением. Анализ дефектов почвообрабатывающих машин показал, что порядка 52% деталей выбраковывается по причине чрезмерного износа рабочих органов. Изучив методы восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин, установили, что одним из наиболее универсальных и гибких технологических приемов воздействия на свойства обрабатываемых поверхностей в качестве метода упрочнения и восстановления деталей с большой степенью износа (0,5 мм и более), работающих в условиях интенсивного изнашивания, служит плазменно-порошковая наплавка (ППН) [1, 2].

Точно заданная глубина проплавления и толщина покрытия, высокая равномерность по толщине слоя, возможность обеспечения необходимого состава, структуры и свойств уже в первом слое металла наплавки, малые остаточные напряжения и деформации, отсутствие разбавления наплавленного покрытия основным металлом делают ППН на сегодняшний день одним из самых эффективных методов поверхностного упрочнения, используемых при восстановлении деталей машин. При ППН деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, используются порошковые наплавочные материалы, в структуре которых содержатся высокотвердые (карбиды, бориды и т. д.) фазы и относительно пластичная матрица [3, 4].

Среди порошковых наплавочных материалов, обладающих высокой твердостью (выше твердости абразива, т. е. 10000 МПа) и стойкостью к абразивному износу одними из наиболее перспективных становятся порошки на основе систем *WC-TiC-Co*, служащие материалом для твердых сплавов, переработка отходов и дальнейшее использование которых представляет собой актуальную проблему. Использование порошков, полученных из отходов твердых сплавов, а не промышленно выпускаемых (достаточно дорогих), в качестве высокотвердой дисперсной составляющей композиции для ППН, позволит повысить качество, надежность и долговечность плазменных покрытий рабочих органов почвообрабатывающих машин с минимумом затрат на порошковые материалы. Однако свойства плазменных покрытий, полученных с использованием твердосплавных порошков, изготовленных из отходов твердых сплавов электродиспергированием, изучены недостаточно, поэтому необходимо проведение комплексных исследований [5-11].

Цель исследования – усовершенствовать технологию восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин плазменно-порошковой наплавкой порошковых материалов, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава марки Т30К4.

Материалы и методы. Для получения плазменных покрытий была использована установка для плазменно-порошковой наплавки и твердосплавные порошки, изготовленные электродиспергированием отходов твердого сплава Т30К4 в керосине (*рис. 1*) [12-16].

Объектом реновации выбрали стрельчатую лапу культиватора из листового проката стали 40ХС толщиной t = 6,0 мм с параметрами: угол раствора 2γ = 60°; угол крошения α = 18°; угол постановки к горизонту ε = 30°; ширина захвата b = 330 мм.

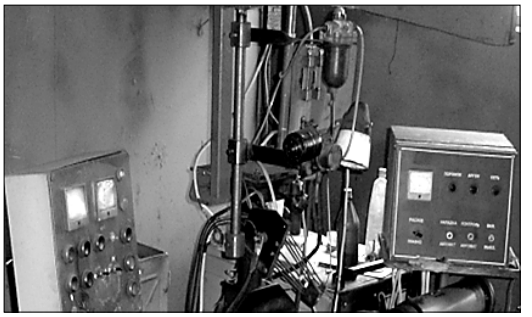


Рис. 1. Установка для плазменно-порошковой наплавки

Полученные плазменные покрытия исследовали с использованием современного оборудования и взаимодополняющих методов физического материаловедения, в том числе: рентгеноспектральный микроанализ покрытий проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы *EDAX* (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп *Quanta 200 3D* (Нидерланды); фазовый анализ покрытий выполняли на рентгеновском дифрактометре *Rigaku Ultima IV* (Япония); механическую обработку покрытий проводили на автоматическом высокоточном настольном отрезном станке *Accutom*-5 (Дания) и шлифовально-полировальном станке *LaboPol-5* (Дания); микроструктуру покрытий исследовали на оптическом инвертированном микроскопе *OLYMPUS GX51* (Япония); размер зерна в покрытиях исследовали на оптическом инвертированном микроскопе *OLYMPUS GX51* (Япония), оснащенного системой автоматизированного анализа изображений *SIMAGIS Photolab*; микротвердость покрытий определяли с помощью прибора *Instron 402 MVD* (Великобритания); шероховатость поверхности покрытий – с помощью автоматизированного прецизионного контактного профилометра *SURTRONIC 25* (Великобритания); износостойкость образцов покрытий исследовали по стандартной схеме испытания «шарик-диск» на автоматизированной машине трения *Tribometer*, *CSM Instruments* (Швейцария); твердость покрытий по *Роквеллу* определяли с помощью прибора *Instron 600 MRD* (Великобритания).

Результаты и обсуждение. Анализ микроструктуры плазменного покрытия показал, что оно имеет мелкозернистое строение без включений, равномерное распределение фаз и отсутствие пор, трещин и несплошностей (*рис. 2*).

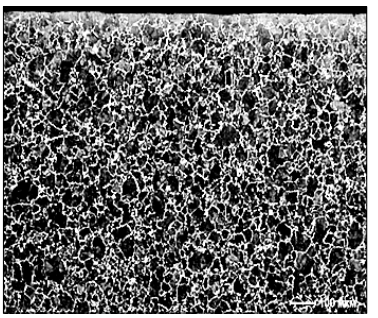


Рис. 2. Микроструктура плазменного покрытия

Рентгеноспектральный микроанализ покрытия проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы *EDAX* (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп *Quanta 200 3D* (Нидерланды). На основе анализа спектрограмм элементного состава установлено, что элементы *W, Ti* и *Co* в покрытии распределены равномерно (*рис. 3*).

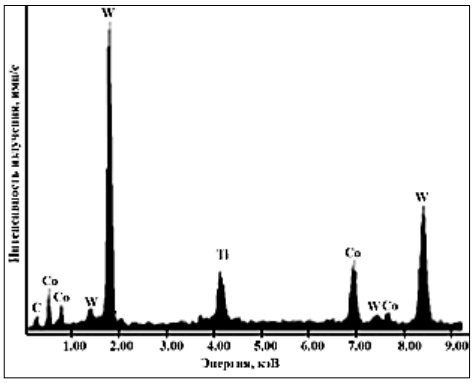


Рис. 3. Спектрограмма элементного состава плазменного покрытия

Фазовый анализ плазменного покрытия выполняли на рентгеновском дифрактометре *Rigaku Ultima IV* (Япония). Анализ дифрактограмм фазового состава исследуемых покрытий показал наличие в них карбидных фаз: *WC* и *TiC* и фазы чистого металла W (*рис. 4*).

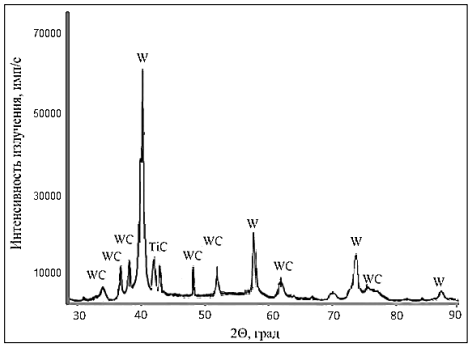


Рис. 4. Дифрактограмма фазового состава плазменного покрытия

Размер зерна плазменных покрытий исследовали на оптическом инвертированном микроскопе *OLYMPUS GX51* (Япония), оснащенного системой автоматизированного анализа изображений *SIMAGIS Photolab*. Экспериментально установили, что плазменные покрытия имеют размер зерна порядка 0,3 мкм. Мелкодисперсность покрытий объясняется высокой дисперсностью исходной электроэрозионной шихты и малой глубины проплавления.

Микротвердость покрытий определяли с помощью прибора *Instron 402 MVD* (Великобритания). Экспериментально установили, что плазменные покрытия имеют микротвердость порядка 14245 МПа. Данный показатель достигается практически беспористой бездефектной структурой и наличием высокотвердых карбидных составляющих. Твердость покрытий определяли с помощью прибора *Instron 600 MRD* (Великобритания). Экспериментально определили, что плазменные покрытия имеют твердость порядка *HRC* 69. Данный эффект достигается за счет использования твердосплавных порошков мелким размером зерна, высокой микротвердостью, практически беспористой и бездефектной структурой и фазовым составом.

Исследования износостойкости поверхности плазменных покрытий провели по стандартной схеме испытания «шарик-диск» на автоматизированной машине трения *Tribometer, CSM Instruments*. Экспериментально установили, что коэффициент трения покрытий на пути трения 500 м составляет 0,1. Низкое значение коэффициента трения плазменных покрытий обеспечивается наличием высокотвердых фаз *WC* и *TiC*. Отметим, что в первона-

чальный момент трения контртела (шарика) об испытуемую поверхность происходит скачок коэффициента трения. В данном случае это связано с относительно высокой шероховатостью и скачок происходит по причине сглаживания твердых выступов поверхности образца (*рис. 5*).

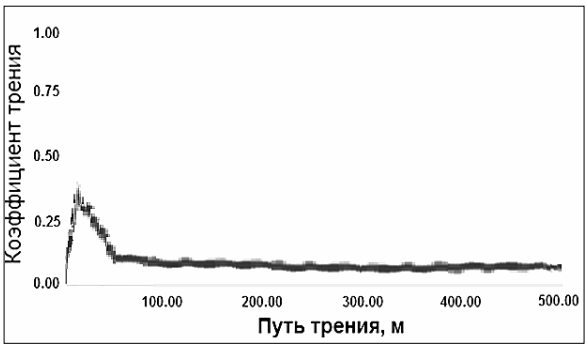


Рис. 5. Коэффициент трения плазменного покрытия

По результатам трех измерений экспериментально определили, что параметр шероховатости поверхности R_a плазменных покрытий составляет порядка 2,5 мкм (*рис. 6).*

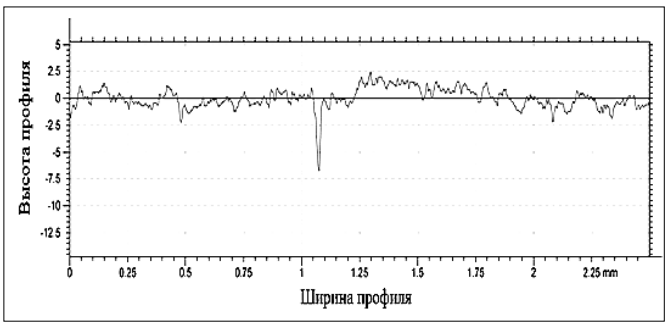


Рис. 6. Шероховатость плазменного покрытия

Расчет экономической эффективности внедрения технологического процесса восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин твердосплавными электроэрозионными материалами выполнили на примере стрельчатой лапы культиватора в условиях Учхоза Курской ГСХА с годовой программой 50 шт. в год:

$$Э = [h \cdot Ц_н \cdot К_{пр} - (С_{вос} + Е_н \cdot К)] \cdot N_{вос},$$

где h – коэффициент, учитывающий затраты по доставке деталей на ремонтное предприятие (равен 1,1);

$Ц_н$ – оптовая цена производства новой стрельчатой лапы, руб.

$К_{пр}$ – коэффициент приведения цены стрельчатой лапы, восстановленного рекомендуемым способом к цене новой стрельчатой лапы;

$Е_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений $Е_н = 0{,}15$;

$N_{вос}$ – годовая программа восстановления стрельчатых лап, шт.;

$К$ – удельные капитальные вложения, руб.

$$Э = [h \cdot Ц_н \cdot К_{пр} - (С_{вос} + Е_н \cdot К)] \cdot N_{вос} = [1{,}1 \cdot 900 \cdot 0{,}91 - (60 + 0{,}15 \cdot 400)] \cdot 50 =$$
$$= (900{,}9 - 120) \cdot 50 = 39045 \text{ руб.}$$

Экономической эффект от внедрения предложенного технологического процесса восстановления и упрочнения стрельчатой лапы культиватора ме-

тодом ППН твердосплавных электроэрозионных порошков в Учхоз Курской ГСХА при программе 50 шт./год составил 39045 руб. Результаты полевых испытаний также показали, что ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин, восстановленных и упрочненных твердосплавными электроэрозионными материалами, выше ресурса новых деталей в 1,25 раза [17-25].

Таким образом, даже на малых предприятиях с небольшими программами восстановления стрельчатых лап экономический эффект от применения разработанного нового технологического проекта весьма значительный.

Выводы. Разработали, апробировали и исследовали новую технологию восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин на примере стрельчатой лапы культиватора путем плазменно-порошковой наплавки твердосплавных электроэрозионных порошковых материалов. Эффективность предложенной подтверждается свойствами плазменных покрытий:

- микроструктура покрытия имеет мелкозернистое строение без включений, равномерное распределение фаз и отсутствие пор, трещин и несплошностей;
- элементы *W, Ti* и *Co* в покрытии распределены равномерно;
- в покрытии присутствуют фазы карбидов *WC* и *TiC*;
- размер зерна покрытий составляет порядка 0,3 мкм;
- микротвердость покрытий составляет порядка 14245 МПа;
- коэффициент трения покрытий на пути трения 500 м составляет 0,1;
- шероховатость поверхности покрытия составляет порядка 2,5 мкм;
- твердость покрытий составляет *HRC* 69.

Результаты полевых испытаний также показали, что ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин, восстановленных и упрочненных твердосплавными электроэрозионными материалами, выше ресурса новых деталей в 1,25 раза. Экономической эффект от внедрения предложенного технологического процесса восстановления стрельчатой лапы методом ППН в Учхозе Курской ГСХА при программе 50 шт./год составил 39045 руб.

Библиографический список

1. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Беляев Р.В., Задорожний Р.Н. Моделирование движения и нагрева частиц порошка в плазменной струе // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 85-93.

2. Зуевский В.А., Задорожний Р.Н., Романов И.В. Использование порошковых материалов в технологиях восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. N4(145). С. 180-190.

3. Задорожний Р.Н., Романов И.В. Повышение износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин вторичными твердосплавными материалами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18. N1(205). С. 24-27.

4. Задорожний Р.Н., Романов И.В., Зуевский В.А., Сидоркин О.А. Применение вторичных твердосплавных порошков для восстановления и упрочнения деталей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19. N2(218). С. 77-80.

5. Ageev E.V., Ageeva E.V. Wear resistance of hardened components produced from electrospark cobalt-chromium powder by additive manufacturing. Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. N8. 731-733.

6. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. Study of the structure and properties of hardened additive articles obtained from electroerosion cobalt-chromium powder. Metal Science and Heat Treatment. 2021. Vol. 63. N1-2. 210-213.

7. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. Metallurgist. 2022. Vol. 66. N1-2.

146-154.

8. Ageev E.V., Ageeva E.V., Korolev M.S. Study of the surface state of powders produced under conditions of the electroerosive metallurgy of T5K10 hard-alloy waste. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2022. Vol. 16. N6. 1333-1336.

9. Latypov R.A., Ageeva E.V., Latypova G.R. Properties of the composite galvanic coatings fabricated using the dispersed wastes of ShKh15 steel. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 6. 632-635.

10. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Effect of temperature on the porosity of the additive products made of the dispersed wastes of cobalt-chromium alloys. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 12. 1300-1303.

11. Latypova G.R., Karpenko N.N., Latypov R.A., Ageeva E.V. Composition and Properties of the powder fabricated from the waste of high-speed R18 tool steel by electroerosion dispersion. Russian Metallurgy (Metally). 2020. Vol. 6. 698-701.

12. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Ageeva E.V., Pykhtin A.I.. Structure and mechanical properties of powders obtained by electrodisperging cobalt-chromium alloy. Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19 (1). 230-236.

13. Ageeva E.V., Ageev E.V., Latypov R.A. Properties of the VNZH pseudoalloy sintered from spark erosion powders fabricated in distilled water. Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 6. 119-123.

14. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Mathematical optimization of the process of electrodispergation of the waste of the alloy of the residence permit. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 22(2). 389-401.

15. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Development of scientific and technological foundations for a new environmentally friendly and waste-free process for grinding conductive waste into micro- and nanofractions powders. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 21(4). 314-326.

16. Ageev E.V., Ageeva E.V., Khoryakova N.M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W–Ni–Fe 95 pseudoalloy in kerosene. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15. N4. 723-727.

17. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P.,Akhmedova T.S., Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

18. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

19. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N6. С. 27-31.

20. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронов Д.А., Родионова И.Г., Кузнецов П.А., Голосиенко С.А., Бобкова Т.И., Деев А.А., Чернобаев С.П., Пичужкин С.А., Рябов В.В., Кудрявцева И.В., Юрков М.А. К вопросу применения новых наноматериалов для рабочих органов почвообрабатывающих машин // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ. 2012. С. 229-234.

21. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. N3. С. 5-7.

22. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Павлов В.П. Технологические особенности восстановления валов плазменной наплавкой // Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т. 16. N12. С. 566-569.

23. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. N3. С. 32-37.

24. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С., Коневцов Л.А., Величко С.А. Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

25. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks with a secondary bronze coating. Coating. 2022. Vol. 12. N3.

References

1. Zhachkin S.Yu., Pen'kov N.A., Belyayev R.V., Zadorozhniy R.N. Modelirovaniye dvizheniya i nagreva chastits poroshka v plazmennoy struye [Simulation of motion and heating of powder particles in a plasma jet]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 85-93 (In Russian).

2. Zuyevskiy V.A., Zadorozhniy R.N., Romanov I.V. Ispol'zovaniye poroshkovykh materialov v tekhnologiyakh vosstanovleniya i uprochneniya detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The use of powder materials in the technologies of restoration and hardening of agricultural machinery parts]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2021. Vol. 59. N4(145). 180-190 (In Russian).

3. Zadorozhniy R.N., Romanov I.V. Povysheniye iznosostoykosti rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin vtorichnymi tverdosplavnymi materialami [Increasing the wear resistance of the working bodies of agricultural machines with secondary carbide materials]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2022. Vol. 18. N1(205). 24-27 (In Russian).

4. Zadorozhniy R.N., Romanov I.V., Zuyevskiy V.A., Sidorkin O.A. Primeneniye vtorichnykh tverdosplavnykh poroshkov dlya vosstanovleniya i uprochneniya detaley [The use of secondary carbide powders for the restoration and hardening of parts]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2023. Vol. 19. N2(218). 77-80 (In Russian).

5. Ageev E.V., Ageeva E.V. Wear resistance of hardened components produced from electrospark cobalt-chromium powder by additive manufacturing. Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. N8. 731-733.

6. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. Study of the structure and properties of hardened additive articles obtained from electroerosion cobalt-chromium powder. Metal Science and Heat Treatment. 2021. Vol. 63. N1-2. 210-213.

7. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. Metallurgist. 2022. Vol. 66. N1-2. 146-154.

8. Ageev E.V., Ageeva E.V., Korolev M.S. Study of the surface state of powders produced under conditions of the electroerosive metallurgy of T5K10 hard-alloy waste. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2022. Vol. 16. N6. 1333-1336.

9. Latypov R.A., Ageeva E.V., Latypova G.R. Properties of the composite galvanic coatings fabricated using the dispersed wastes of ShKh15 steel. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 6. 632-635.

10. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Effect of temperature on the porosity of the additive products made of the dispersed wastes of cobalt-chromium alloys. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 12. 1300-1303.

11. Latypova G.R., Karpenko N.N., Latypov R.A., Ageeva E.V. Composition and Properties of the powder fabricated from the waste of high-speed R18 tool steel by electroerosion dispersion. Russian Metallurgy (Metally). 2020. Vol. 6. 698-701.

12. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Ageeva E.V., Pykhtin A.I.. Structure and mechanical properties of powders obtained by electrodisperging cobalt-chromium alloy. Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19 (1). 230-236.

13. Ageeva E.V., Ageev E.V., Latypov R.A. Properties of the VNZH pseudoalloy sintered from spark erosion powders fabricated in distilled water. Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 6. 119-123.

14. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Mathematical optimization of the process of electrodispergation of the waste of the alloy of the residence permit. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 22(2). 389-401.

15. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Development of scientific and technological foundations for a new environmentally friendly and waste-free process for grinding conductive waste into micro- and nanofractions powders. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 21(4). 314-326.

16. Ageev E.V., Ageeva E.V., Khoryakova N.M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W–Ni–Fe 95 pseudoalloy in kerosene. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15. N4. 723-727.

17. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K.,Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

18. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

19. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Vaynerman A.E., Pichuzhkin S.A., Golosiyenko S.A., Chernobayev S.P., Yurkov M.A. Novyye iznosostoykiye naplavochnyye materialy v sel'skokhozyaystvennom mashinostroyenii [New wear-resistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N6. 27-31 (In Russian).

20. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironov D.A., Rodionova I.G., Kuznetsov P.A., Golosiyenko S.A., Bobkova T.I., Deyev A.A., Chernobayev S.P., Pichuzhkin S.A., Ryabov V.V., Kudryavtseva I.V., Yurkov M.A. K voprosu primeneniya novykh nanomaterialov dlya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [The issue of the use of new nanomaterials for the working bodies of tillage machines]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM. 2012. 229-234 (In Russian).

21. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosiyenko S.A. Nauchnyye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of increasing the wear resistance of working bodies of tillage machinery]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2012. N3. 5-7 (In Russian).

22. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Pavlov V.P. Tekhnologicheskiye osobennosti vosstanovleniya valov plazmennoy naplavkoi [Technological features of restoration of plasma surfacing shafts]. Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii. 2018. Vol. 16. N12. 566-569 (In Russian).

23. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Lyalyakin V.P. Praktika primeneniya plazmenno-poroshkovoy naplavki pri vosstanovlenii iznoshennykh detaley mashin [The practice of using plasma-powder surfacing in the restoration of worn machine parts].

Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2019. N3. 32-37 (In Russian).

24. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., Konevtsov L.A., Velichko S.A. Vliyaniye prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the nature of electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

25. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks with a secondary bronze coating. Coating. 2022. Vol. 12. N3.

Заявленный вклад соавторов

Агеева Е.В. – подготовка текста, анализ литературных данных;
Серебровский В.И. – анализ данных рентгеноспектрального и фазового исследования плазменно-порошковых покрытий, доработка текста статьи;
Агеев Е.В. – научное руководство, анализ полученных физико-механических свойств покрытий, доработка текста статьи;
Кончин В.А. – восстановление стрельчатых лап плазменно-порошковой наплавкой твердосплавных электроэрозионных материалов, расчет экономической эффективности.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Ageeva E.V. – preparation of the manuscript, analysis of literary data;
Serebrovsky V.I. – analysis of data from X-ray spectral and phase studies of plasma-powder coatings, revision of the manuscript;
Ageev E.V. – scientific guidance, analysis of the obtained physical and mechanica l properties of coatings, revision of the manuscript;
Konchin V.A. – restoration of lancet paws by plasma-powder surfacing of hard-alloy electroerosive materials, calculation of economic efficiency.

All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-95-102 УДК 621.791

Технология восстановления ножей составных лемехов импортного производства (на примере компании «Лемкен»)

Александр Михайлович Михальченков, доктор технических наук, профессор, e-mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru;
Александр Федорович Шустов, доктор философских наук, профессор;
Наталия Викторовна Синяя, кандидат технических наук, доцент;
Максим Олегович Лещев, магистрант
Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация

Реферат. *Ориентирование сельского хозяйства России на использование импортной техники привело к негативным последствиям. Введение санкций со стороны европейских государств повлекло за собой увеличение рыночной цены сменяемых деталей и рост дефицитности. Выход из положения заключается в организации мастерских по восстановлению изношенных деталей. (Цель исследования) Разработать и подробно описать (с поясняющими иллюстрационными материалами) технологический процесс восстановления ножей составных лемехов плугов. (Материалы и методы) Определили, что необходимо обеспечить минимальные экономические издержки; простоту выполнения операций; возможность выполнения элементов технологии низкоквалифицированным персоналом; простоту и доступность материалов, инструмента, приспособлений и оборудования. (Результаты и обсуждение) Положили в основу технологического процесса метод ремонтных вставок, которые привариваются к ножу вместо изношенной области. Вставки можно изготавливать из выбракованных листов рессор, имеющих твердость около 45 по шкале Роквелла. Установили, что процесс восстановления состоит из трех этапов: подготовка ножа к восстановлению; подготовка вставки; восстановление. Показали, что технологический процесс отличается простотой, универсальностью, отсутствием сложного оборудования и может быть реализован в условиях предприятий с минимальным техническим оснащением. Его можно адаптировать для восстановления ножей лемехов других компаний. Отметили, что данная технология вписывается в программу импортозамещения. (Выводы) Разработанную технологию восстановления ножей составных лемехов компании «Лемкен» представили в текстовом варианте и в иллюстрациях. Технология отличается простотой исполнения, универсальностью и может быть адаптирована для ремонта ножей других компаний.*

Ключевые слова: *составные лемеха, ножи лемехов, технология восстановления, ремонтные вставки, ресурс.*

Для цитирования: *Михальченков А.М., Шустов А.Ф., Синяя Н.В., Лещев М.О. Технология восстановления ножей составных лемехов импортного производства (на примере компании «Лемкен») // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 95-102. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-95-102. TICXUT.*

Restoration of knives of composite ploughshares (on the example of the company «Lemken»)

Aleksandr M. Mikhalchenkov, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Aleksandr F. Shustov, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Natal'ya V. Sinyaya, Ph.D.(Ped.), associate professor;
Maksim O. Leshchev, postrgraduate
Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

Abstract. *The orientation of Russian agriculture to the use of imported machinery has led to negative consequences. The introduction of sanctions by European states led to an increase in the market price of replaceable parts and an increase in scarcity. The way out of this situation is to organize workshops for the restoration of worn parts. (Research purpose) The research purpose is developing and describing in detail (with explanatory illustrative materials) the technological process of restoring knives of composite ploughshares. (Materials and methods) We have determined that it is necessary to ensure minimum economic costs; simplicity of operations; the ability to perform technology elements by low-skilled personnel; simplicity and availability of materials, tools, fixtures and equipment. (Results and discussion) The technological process was based on the method of repair inserts, which are welded to the knife instead of the worn area. Inserts can be made from discarded spring sheets having a hardness of about 45 on the Rockwell scale. It was established that the restoration process consists of three stages: preparation of the knife for restoration; preparation of the insert; restoration. They have shown that the technological process is simple, versatile, there is no need for complex equipment and can be implemented in enterprises with minimal technical equipment. It can be adapted to restore the knives of ploughshares of other companies. It was noted that this technology fits into the import substitution program. (Conclusions) The developed technology of restoration of knives of composite ploughshares of the Lemken company was presented in a text version and in illustrations. The technology is characterized by simplicity of execution, versatility and can be adapted for the repair of knives from other companies.*

Keywords: *composite ploughshares, ploughshare knives, restoration technology, repair inserts, resource.*

For citation: *Mikhal'chenkov A.M., Shustov A.F., Sinyaya N.V., Leshchev M.O. Tekhnologiya vosstanovleniya nozhey sostavnykh lemekhov importnogo proizvodstva (na primere kompanii «Lemken») [Restoration of knives of composite ploughshares (on the example of the company «Lemken»)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 95-102 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-95-102. TICXUT.*

Введение. Высокая рыночная цена оригинальных ножей плугов импортного производства (около 8 тыс. руб. за ед.), а также дефицит таких деталей вследствие введения санкций вызвали необходимость в совершенствовании и внедрении технологий их восстановления [1, 2].

В основу известного технологического процесса положен метод «термоупрочненных компенсирующих элементов», заключающийся во вваривании ремонтной вставки вместо истертой режуще-лезвийной области [3, 4].

При этом вставка изготавливается из рессорно-пружинной стали и термоупрочняется на твердость 45-53 HRC [5, 6]. Допускается применение листов рессор, снятых с эксплуатации по причине потери жесткости [7, 8].

Однако отсутствие подробного описания технологического процесса с

демонстрационным поясняющим материалом затрудняет широкое распространение этого метода.

Цель исследования – разработать и подробно описать (с поясняющими иллюстрационными материалами) технологический процесс восстановления ножей составных лемехов плугов. В качестве примера рассматриваются ножи компании «Лемкен». Описанная технология может быть использована применительно к деталям других фирм с незначительными корректировками.

Материалы и методы. Материалы: электроды сварочные МР-3 диаметром 4 мм (стальной стержень электрода содержит 0,08-0,1% углерода, что обеспечивает сравнительно невысокие значения остаточных напряжений и уменьшает вероятность образования закалочных структур в сварном соединении); растворитель уайт-спирит *Bitumast*; грунт-эмаль *Proremontt* для металла.

Инструмент: стальная щетка по металлу *MIRAX* 35112-2; сетевая угловая шлифовальная машина Интерскол УШМ-125/900; круг отрезной абразивный по ме таллу *A54 S BF* 125х1,2х22,2 мм; зачистная щетка *Bartex*, 65 мм с крученой проволокой; шлифовальный абразивный диск по металлу ЗУБР 36304-125-6,0; штангенциркуль ШЦРТ-II 0-300; молоток сварщика *START HA625-350*; плоская кисть для окраски Стандарт 2 *MATRIX 82530.* Оборудование: источник сварочного тока инверторного типа *РЕСАНТА САИ-315, ММА*; стол сварочно-сборочный монтажный ССМД-01-02.

Приспособления: струбцины цеховые.

Методика разработки технологического процесса заключается в обеспечении минимальных экономических издержек; низкой сложности выполнения операции; возможности выполнения элементов технологии низкоквалифицированным персоналом при простоте и доступности материалов, инструмента, приспособлений и оборудования.

Результаты и обсуждение. Восстановление ножа состоит из трех этапов: первый – подготовка ножа; второй – подготовка ремонтной вставки; третий – непосредственно восстановление. Рассматривается технология, адаптированная к условиям, когда мастерская располагает минимальным количеством оборудования и приспособлений, т. е. производство относится к мелкосерийному. Предлагаемый технологический процесс может быть реализован в небольших фермерских хозяйствах. Приведенное ниже описание технологии соответствует условиям мастерских кафедры технического сервиса Брянского ГАУ. Оно носит рекомендательный характер, возможно использование другого оборудования, инструмента, приспособлений и материалов. Подготовка ножа для восстановления. Из общей массы, поступивших в мастерскую на восстановление составных импортных лемехов различных компаний, отсортировали ножи компании «Лемкен».

Рис. 1. Нож после снятия с эксплуатации, пригодный к восстановлению

Среди отобранных деталей визуально определили ножи, пригодные для восстановления – разрушенные, имеющие нарушение формы (изгибы, скручивания), предельно изношенные по толщине и длине (*рис. 1*). С поверхностей деталей, выбранных для восстановления, удаляют грубые загрязнения в виде налипшей почвы, пожнивных остатков, сорняков и иных включений.

Операция осуществляется вручную стальной щеткой по металлу до заметного их отсутствия. Следующий этап подготовки ножа к восстановлению – зачистка его поверхностей до металлического блеска шлифовальной машиной типа УШМ с соответствующим инструментом (*рис. 2*).

Рис. 2 . Зачистка рабочей поверхности

После этого производится контроль остаточной ширины ножа для определения ремонтной группы (98; 103; 108 мм) с одновременной разметкой. Измеряют размеры в области максимального износа (пятка) (*рис. 3*). В обоих случаях используют разметочный штангенциркуль.

Рис. 3. Разметка

Затем удаляют изношенную область режуще-лезвийной части в соответствии с ремонтными размерами при помощи шлифовальной машины и отрезного круга (*рис. 4).*

Рис. 4. Нож с удаленной изношенной частью

Далее осуществляют зачистку участка сварки шлифовальным кругом с образованием фаски. Наличие фаски будет способствовать увеличению прочности сварного соединения «нож – вставка». Подготовка ремонтной вставки. Из листа рессоры вырезают ремонтную вставку с геометрией, копирующей удаленный участок ножа. Использование вторичного сырья позволяет снизить экономические затраты на восстановление и избежать дополнительных операций термической обработки, что немаловажно для небольших хозяйств, ограниченных финансово. При этом твердость заготовки должна быть не менее 45 *HRC*. Дальнейшая подготовка вставки состоит из ее зачистки до металлического блеска и выполнения фаски.

Рис. 5. Компоновка ножа и вставки

Фаска на вставке предназначена для обеспечения прочности сварного соединения с изношенным ножом.

Восстановление. Вавариваемую вставку и нож устанавливают (компанують) на сварочно-монтажном столе. Во избежание изгиба детали при сваривании вставку и нож фиксируют струбцинами (*рис. 5*).

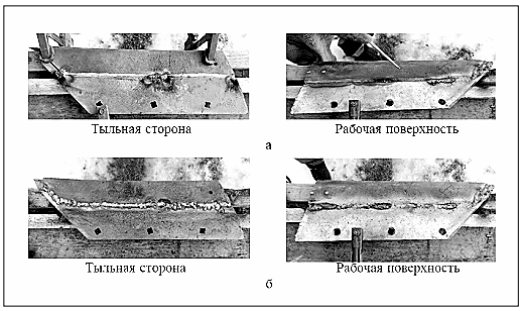


Рис. 6. Сварка:
а – прихваченные детали с двух сторон; б – сваренные детали с двух сторон

Сваривание происходит в два этапа: первый – детали прихватывают в нескольких местах с двух сторон (*рис. 6, а)*. Второй – наложение шва по всей длине изделия с двух сторон (*рис. 6, б*). Во избежание коробления после сварки одной стороны рекомендуется проводить охлаждение детали до температуры 60°С. Параметры режима сварки: диаметр электрода – 4 мм; сила сварочного тока – 140-160 А. Для реализации дальнейших операций сварные швы зачищают как с наружной, так и тыльной стороны после предварительного удаления шлака. Контроль качества сварного соединения на предмет наплывов, подрезов, трещин, кратеров осуществляют визуально.

Подготовка ножа к покраске сопровождается обработкой поверхностей растворителем. После травления выполняют покраску ножа кисточкой вручную краской по металлу. Затем восстановленный нож передают на склад готовой продукции либо заказчику. Схему технологического процесса реставрации ножа общем виде представили на *рисунке 7.*

Многолетний опыт использования восстановления ножей по такой технологии позволил установить, что их ресурс при эксплуатации на супесчаных почвах составляет около 85% от деталей заводского исполнения без применения дополнительных мер по упрочнению [9-16].

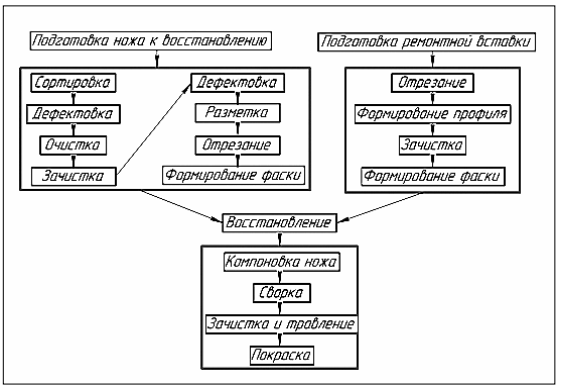


Рис. 7. Схема технологического процесса восстановления ножа составного лемеха компании «Лемкен»

Выводы. Определили последовательность технологического процесса

восстановления ножей составных лемехов (на примере компании «Лемкен») с подробным описанием операций. Основные операции проиллюстрировали демонстрационным материалом. Разработали схему технологического процесса, включающую все этапы восстановления. Для выполнения операций подобрали материалы, инструменты, оборудование, приспособления. Технология восстановления отличается простотой исполнения, универсальностью и может быть адаптирована для ремонта ножей других компаний в агропромышленных организациях с минимальным техническим оснащением.

Библиографический список

1. Феськов С.А., Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А. Методы восстановления с одновременным упрочнением составных лемехов импортного производства // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2020. N1(19). С. 65-71.

2. Михальченков А.М., Шустов А.Ф. Особенности изнашивания и ресурс восстановленных импортных составных лемехов при пахоте на супесчаных почвах // Техника и оборудование для села. 2017. N11. С. 37-40.

3. Феськов С.А., Михальченкова М.А., Бирюлина Я.Ю. Износы стрельчатых лап культиваторов для посева по стерне и выбор способа их восстановления // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 241-246.

4. Казанцев С.П., Михальченкова М.А., Поджарая К.С. Упрочняющие технологии восстановления и изготовления деталей почвообрабатывающих машин применением компенсирующих элементов и их преимущества // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 102-107.

5. Козарез И.В., Новиков А.А., Михальченкова М.А. Термообработка выбракованных листов рессор для компенсирующих элементов при реставрации деталей почвообрабатывающих орудий // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2017. N1. С. 71-83.

6. Новиков А.А., Михальченкова М.А., Исаев Х.М. Некоторые вопросы использования термообработанных рессорно-пружинных сталей из вторичного сырья для упрочняющего восстановления лемехов // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2017. N1. С. 21-35.

7. Тюрева А.А., Феськов С.А. Восстановление лап культиваторов методом «компенсирующих элементов» с использованием наплавочного армирования // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2017. N1. С. 101-119.

8. Козарез И.В., Новиков А.А., Михальченкова М.А. Повышение твердости компенсирующих элементов при восстановлении деталей // Сельский механизатор. 2017. N3. С. 34-35.

9. Михальченков А.М., Гринь А.М., Гуцан А.А., Уралов С.В. Технология повышения ресурса остова составного плужного лемеха путем оптимизации расположения упрочняющего покрытия // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15. N3(171). С. 103-105.

10. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Гапонова В.Е. Повышение износостойкости и межремонтного ресурса плужных лемехов совмещенным способом восстановления и упрочнения // Технология металлов. 2023. N1. С. 44-48.

11. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

12. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении

// Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т.8. N6. С. 27-31.

13. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P.,, Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

14. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С., Коневцов Л,А., Величко С.А. Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

15. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

16. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. N3. С. 32-37.

References

1. Fes'kov S.A., Kozhukhova N.Yu., Mikhal'chenkova M.A. Metody vosstanovleniya s odnovremennym uprochneniyem sostavnykh lemekhov importnogo proizvodstva [Methods of restoration with simultaneous hardening of composite ploughshares of imported production]. Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya. 2020. N1(19). 65-71 (In Russian).

2. Mikhal'chenkov A.M., Shustov A.F. Osobennosti iznashivaniya i resurs vosstanovlennykh importnykh sostavnykh lemekhov pri pakhote na supeschanykh pochvakh [Wear and resource of restored imported composite ploughshares when plowing on sandy loam soils]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2017. N11. 37-40 (In Russian).

3. Fes'kov S.A., Mikhal'chenkova M.A., Biryulina Ya.Yu. Iznosy strel'chatykh lap kul'tivatorov dlya poseva po sterne i vybor sposoba ikh vosstanovleniya [Wear of the arrow paws of cultivators for sowing on stubble and the choice of the method of their restoration]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 123. 241-246 (In Russian).

4. Kazantsev S.P., Mikhal'chenkova M.A., Podzharaya K.S. Uprochnyayushchiye tekhnologii vosstanovleniya i izgotovleniya detaley pochvoobrabatyvayushchikh mashin primeneniyem kompensiruyushchikh elementov i ikh preimushchestva [Strengthening technologies for the restoration and manufacture of parts of tillage machines using compensating elements and their advantages]. Trudy GOSNITI. 2014. Vol. 116. 102-107 (In Russian).

5. Kozarez I.V., Novikov A.A., Mikhal'chenkova M.A. Termoobrabotka vybrakovannykh listov ressor dlya kompensiruyushchikh elementov pri restavratsii detaley pochvoobrabatyvayushchikh orudiy [Heat treatment of discarded leaf springs for compensating elements during the restoration of parts of tillage tools]. Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. N1. 71-83 (In Russian).

6. Novikov A.A., Mikhal'chenkova M.A., Isayev Kh.M. Nekotoryye voprosy ispol'zovaniya termoobrabotannykh ressorno-pruzhinnykh staley iz vtorichnogo syr'ya dlya uprochnyayushchego vosstanovleniya lemekhov [Some issues of using heat-treated spring-spring steels from secondary raw materials for reinforcing restoration of ploughshares]. Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. N1. 21-35 (In Russian).

7. Tyureva A.A., Fes'kov S.A. Vosstanovleniye lap kul'tivatorov metodom «kompensiruyushchikh elementov» s ispol'zovaniyem naplavochnogo armirovaniya [Restoration of knives of cultivators by the method of compensating elements using surfacing reinforcement]. Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. N1. 101-119 (In Russian).

8. Kozarez I.V., Novikov A.A., Mikhal'chenkova M.A. Povysheniye tverdosti kompensiruyushchikh elementov pri vosstanovlenii detaley [Increasing the hardness of compensating elements during the restoration of parts]. Sel'skiy mekhanizator. 2017. N3. 34-35 (In Russian).

9. Mikhal'chenkov A.M., Grin' A.M., Gutsan A.A., Uralov S.V. Tekhnologiya povysheniya resursa ostova sostavnogo pluzhnogo lemekha putem optimizatsii raspolozheniya uprochnyayushchego pokrytiya [Technology for increasing the life of the composite plowshare skeleton by optimizing the location of the reinforcing coating]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2019. Vol. 15. N3(171). 103-105 (In Russian).

10. Mikhal'chenkov A.M., Gutsan A.A., Gaponova V.E. Povysheniye iznosostoykosti i mezhremontnogo resursa pluzhnykh lemekhov sovmeshchennym sposobom vosstanovleniya i uprochneniya [Increasing the wear resistance and maintenance life of plowshares by a combined method of restoration and hardening]. Tekhnologiya metallov. 2023. N1. 44-48 (In Russian).

11. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

12. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Vaynerman A.E., Pichuzhkin S.A., Golosiyenko S.A., Chernobayev S.P., Yurkov M.A. Novyye iznosostoykiye naplavochnyye materialy v sel'skokhozyaystvennom mashinostroyenii [New wear-resistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N6. 27-31 (In Russian).

13. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P.,, Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

14. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., Konevtsov L.A., Velichko S.A. Vliyaniye prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

15. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

16. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Lyalyakin V.P. Praktika primeneniya plazmenno-poroshkovoy naplavki pri vosstanovlenii iznoshennykh detaley mashin [The practice of using plasma-powder surfacing in the restoration of worn machine parts]. Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2019. N3. 32-37 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Михальченков А.М. – автор идеи, научное руководство, написание текста;
Шустов А.Ф. – корректировка и доработка текста;
Синяя Н.В. – подготовка и анализ известных в открытом доступе источников информации;
Лещев М.О. – выполнение операций и подготовка иллюстрационного материала по реализации операции технологий.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Mikhalchenkov A.M. – the author of the idea, scientific guidance, writing the manuscript;
Shustov A.F. – correction and revision of the manuscript;
Sinaya N.V. – preparation and analysis of publicly available information sources;
Leshchev M.O. – execution of operations and preparation of illustrative material for the implementation of operation technologies.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-103-112 УДК 629.4.048.4:658.588.8

Методика расчета системы энергообеспечения производственных участков ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа

[1,2]Игорь Николаевич Кравченко, доктор технических наук, профессор, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru;
[3]Елена Геннадьевна Мартынова, кандидат технических наук;
[3]Юлия Викторовна Величко, кандидат педагогических наук, доцент;
[1]Светлана Геннадьевна Ярина, инженер
[1]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация
[2]Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация
[3]Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация

Реферат. *Работоспособность тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа определяет механизм всасывания делительного устройства, при износе деталей которого происходит потеря вакуума, из-за чего нарушается точность развесовки теста. Наиболее перспективным методом восстановления изношенных поверхностей деталей механизма всасывания служит электроискровая обработка. (Цель исследования) Разработать участок ремонта тестоделительных машин с восстановлением деталей методом электроискровой обработки и предложить методику расчета системы энергообеспечения. (Материалы и методы) Рекомендовали маршрут технологического процесса для ремонта тестоделительных машин, который состоит из следующих операций: моечной, дефектовочной, слесарной, механической, наплавочной и контрольной. Анализ рассматриваемого процесса на участке показал, что на здоровье работающего воздействует комплекс вредных производственных факторов, таких как шум, вибрации, запыленность, световое воздействие, выделение химических веществ в воздух рабочей зоны. Выполнили в процессе экспериментального исследования с помощью современных высокоточных приборов измерения уровня показателей данных факторов на участке ремонта тестоделительных машин. (Результаты и обсуждение) Измерения в условиях реализации технологического процесса позволили сделать следующие заключения: уровень шума и вибрации ниже предельно-допустимого; загрязненность воздуха в два раза превышает предельно-допустимую концентрацию. Рекомендовали на основании полученных данных обеспечивать работников спецодеждой и средствами индивидуальной защиты. Произвели на примере приточно-вытяжной вентиляции расчет выбора технических параметров электродвигателя и вентиляционных каналов. Отметили, что внедрение предложенной системы энергообеспечения значительно снижает уровень вредных примесей в воздухе до оптимальных и допустимых значений и исключает серьезные заболевания и отравления организма человека. (Выводы). Разработанная методика расчета энергообеспечения производственных участков по ремонту тестоделительных машин позволяет выявить и устранить вредные факторы проектируемого технологического процесса. Данную методику*

можно применять для определения опасных и вредных факторов при проектировании производственных участков ремонта других объектов.

Ключевые слова: *тестоделительная машина, ремонт, опасные и вредные факторы, условия труда, вентиляция.*

Для цитирования: *Кравченко И.Н., Мартынова Е.Г., Величко Ю.В., Ярина С.Г. Методика расчета системы энергообеспечения производственных участков ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 103-112. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-103-112. XROWSJ.*

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ENERGY SUPPLY SYSTEM FOR REPAIR PRODUCTION SITES OF DOUGH DIVIDERS OF A VACUUM PISTON TYPE

[1,2]Igor' N. Kravchenko, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[3]Elena G. Martynova, Ph.D.(Eng.);
[3]Yuliya V. Velichko, Ph.D.(Ped.), associate professor;
[1]Svetlana G. Yarina, engineer
[1]Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
[2]Institute of Machines Sciense named after A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
[3]National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation

Abstract. *The efficiency of vacuum-piston type dough dividing machines is determined by the suction mechanism of the dividing device, when the parts of which are worn out, vacuum loss occurs due to which the accuracy of the dough weight is violated. The most promising method of restoring worn surfaces of parts of the suction mechanism is electric spark treatment. (Research purpose) The research purpose is developing a repair site for dough-dividing machines with the restoration of parts by the method of electric spark processing and proposing a methodology for calculating the energy supply system. (Materials and methods) Recommended the route of the technological process for the repair of dough dividing machines, which consists of the following operations: washing, defect, locksmith, mechanical, surfacing and control. The analysis of the process under consideration at the site showed that the health of the worker is affected by a complex of harmful production factors, such as noise, vibrations, dustiness, light exposure, release of chemicals into the air of the working area. Performed in the process of experimental research with the help of modern high-precision instruments measuring the level of indicators of these factors at the repair site of dough dividing machines. (Results and discussion) Measurements in the conditions of the implementation of the technological process allowed us to draw the following conclusions: the noise and vibration level is below the maximum permissible; air pollution is twice as high as the maximum permissible concentration. It was recommended, based on the data obtained, to provide workers with overalls and personal protective equipment. Using the example of supply and exhaust ventilation, we calculated the choice of technical parameters of the electric motor and ventilation ducts. It was noted that the introduction of the proposed energy supply system significantly reduces the level of harmful impurities in the air to optimal and acceptable values and eliminates serious*

diseases and poisoning of the human body. (Conclusions). The developed method of calculating the energy supply of production sites for the repair of dough-dividing machines allows to identify and eliminate harmful factors of the projected technological process. This technique can be used to determine dangerous and harmful factors in the design of production sites for the repair of other facilities.
Keywords: *dough dividing machine, repair, dangerous and harmful factors, working conditions, ventilation.*

For citation: *Kravchenko I.N., Martynova E.G., Velichko Yu.V., Yarina S.G. Metodika rascheta sistemy energoobespecheniya proizvodstvennykh uchastkov remonta testodelitel'nykh mashin vakuumno-porshnevogo tipa [Methodology for calculating the energy supply system for repair production sites of dough dividers of a vacuum piston type] Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 103-112 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-103-112. XROWSJ.*

Введение. Пищевая индустрия занимается переработкой сельскохозяйственной продукции с ориентацией или на источники сырья, или на конечного потребителя. Хлебопекарная промышленность относится к сельскохозяйственной отрасли глубокой переработки сырья и обеспечивает население страны продуктами первой необходимости – хлебом, хлебобулочными и бараночными изделиями. При производстве хлебобулочных изделий наиболее важно получение заготовок теста одинаковой массы. Данную операцию выполняют тестоделительные машины [1-4].

Широкое применение в хлебопекарной промышленности по способу нагнетания теста находят тестоделительные машины вакуумно-поршневого типа, достоинством которых служит точное деление тестовых заготовок массой от 50 г из ржаной и пшеничной муки с бережным отношением к тесту, не травмируя клейковину. К одной из таких машин, широко используемых на территории России и стран СНГ, относится ТД-4 фирмы АО НПП «Восход» (*рис. 1*).

Рис. 1. Общий вид тестоделительной машины ТД-4

В технической документации указано, что в условиях нормальной эксплуатации срок службы тестоделительных машин составляет более 10 лет [5, 6]. Однако в условиях реальной эксплуатации он не превышает 6-7 лет [7].

Работоспособность тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа определяет механизм всасывания делительного устройства, при износе деталей которого происходит потеря вакуума и, как следствие, нарушается точность развесовки теста. Наиболее перспективный метод восстановления из-

ношенных поверхностей деталей механизма всасывания – электроискровая обработка. К ее преимуществам можно отнести локальность обработки, отсутствие термического воздействия, создание на рабочих поверхностях деталей покрытий с заданными функциональными свойствами и др. [8, 9].

При разработке участка ремонта тестоделительных машин на условия труда влияют различные факторы, которые могут отрицательно сказываться на работоспособности рабочего персонала, вызывая профессиональные хронические заболевания [10-12]. В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 опасные и вредные производственные факторы подразделяются по своему действию на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Цель исследования – разработать участок ремонта тестоделительных машин с восстановлением деталей методом электроискровой обработки и предложить методику расчета системы энергообеспечения.

Материалы и методы. Для измерения шума на рабочем месте использовали прибор *SVAN*-943, для измерения загрязнения воздуха – газоанализатор ГАНК-4, для измерения освещения – люксметр МЕГЕОН 21060. Маршрут технологического процесса ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа с восстановлением деталей механизма всасывания методом электроискровой обработки состоит из моечной, дефектовочной, слесарной, механической, наплавочной и контрольной технологических операций. Количество оборудования, рассчитанное в соответствии с технологическим процессом, представили в *таблице.*

Таблица

Площадь отдельных рабочих мест на участке ремонта тестоделительных машин

Номер поста	Оборудование	Кол-во, шт.	Габаритные размеры (Д×Ш), мм	Площадь участка, м^2
I	1. Моечная ванна	1	750×750	1,73
	2. Стеллаж СТ-012	1	900×600	
	3. Шкаф ШК1	1	1260×500	
	4. Верстак ВС-3М-ТПуД	1	2000×700	2,57
	5. Шкаф ШК1	1	1260×500	
	6. Стеллаж СТ-012	1	900×600	
II	7. Верстак ВС-3М-ТПуД	1	2000×700	2,03
	8. Шкаф ШК1	1	1260×500	
	9. Установка «БИГ-5»	1	--	
	10. Токарно-винторезный станок 1К62	1	2812×1166	8,4
	11. Плоскошлифовальный станок 3Г71	1	1870×1550	
	12. Вертикально-сверлильный станок 2Н125	1	915×785	
	13. Станок для прецизионной обработки СПО-01	1	1200×800	
	14. Стеллаж СТ-012	1	900×600	
	15. Устройство для проверки работоспособности гидроустройств на базе машины ТД-4	1	1852×1052	2,57
	16. Шкаф ШК1	1	1260×500	
Итого				17,3

Результаты и обсуждение. При расчете площади участка следует исходить из площадей, занимаемых оборудованием, машинами и стационарным оборудованием с учетом рабочих зон и проходов для каждого поста участка.

Площадь участка $F_{уч}$ определим из выражения:

$$F_{уч} = \sum F_{п_i} \cdot K, \quad (1)$$

где $\sum F_п$ – суммарная площадь пола, м^2 (*табл. 1*); K – переходный коэффициент, учитывающий рабочие зоны и проходы, принимаем $K = 4$.

Тогда по *формуле* (1) получим:

$$F_{уч} = 17{,}3 \cdot 4{,}0 \approx 70 \text{ м}^2.$$

С учетом расстояния между колоннами равным 6 м, окончательно принимаем площадь участка равную 72 м^2.

По данным *таблицы* строится типовой проект участка по ремонту тестоделительных машин (*рис. 2*).

Объем участка ремонта тестоделительных машин с учетом высоты здания $H = 4$ м, составит:

$$O_{пом} = F_{уч} H. \quad (2)$$

Подставляя в формулу (2), получим:

$$O_{пом}\ 72 \times 4 = 288 \text{ м}^3.$$

Проведем анализ опасных вредных производственных факторов, возникающих на участке ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа. Шум служит одним из наиболее распространенных неблагоприятных факторов условий труда на производстве. Источниками повышенного шума являются работающие станки и механизмы. Под влиянием шума нарушаются функции не только слухового анализатора, но и центральной нервной, сердечно-сосудистой и других физиологических систем. Работа в условиях повышенного шума вызывает быструю утомляемость, что приводит в дальнейшем к росту брака. Допустимое значение шума составляет 55 дБ [13, 14].

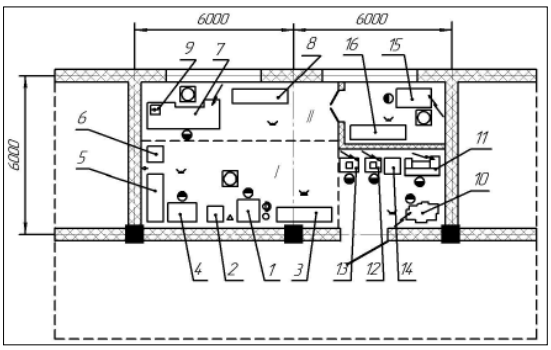


Рис. 2. Планировка участка ремонта тестоделительных машин (нумерация оборудования соответствует данным, приведенным в таблице): ○ – подвод воды; ◐ – отвод воды; △ – подвод сжатого воздуха; –<>– розетка 220 В; ⚡ – подвод электроэнергии 380 В; ▣ – вытяжная принудительная вентиляция; – искусственное освещение; ◑ – рабочее место

При определении шума на участке ремонта тестоделительных машин максимальное значение составило 50 дБ, что ниже допустимого значения.

Повышенный уровень вибрации станков вызывает виброболезнь. Вибрация, возникающая при работе на станке, может вызвать неприятные ощу-

щения у работающего. Долгое воздействие вибрации на человека вызывает спазмы сосудов, происходит ухудшение снабжения конечностей кровью. Допустимое значение вибрации составляет 200 Гц. При определении вибрации на участке ремонта тестоделительных машин максимальное значение составило 125 Гц, что ниже допустимых значений.

При работе на шлифовальном и сверлильном станках образуется металлическая и абразивная пыль, состоящая из твердых частиц, которая, систематически попадая на слизистые оболочки слесаря, может вызвать раздражение или повреждение (например, глаз). Для сверлильных работ характерно образование металлической стружки, которая вызывает опасение при нахождении работников без средств индивидуальной защиты рядом со станками и оборудованием. Вылетающая с высокой скоростью стружка может нанести непоправимый ущерб зрительным органам, а также кожным покровам.

Допустимое значение пыли составляет 2 мг/м^3. При определении пыли на участке ремонта тестоделительных машин максимальное значение составило 4 мг/м^3, что выше допустимого значения. Для понижения температуры поверхности обрабатываемых деталей и режущих элементов станков используют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и технические смазки (ТС) которые оказывают раздражающее воздействие на органы дыхания. При использовании СОЖ в воздухе возникают аэрозоли – туманы, которые отрицательно сказываются на параметрах микроклимата рабочей зоны. Попадание СОЖ на слизистую оболочку глаза работающего может вызвать раздражение, а систематическое попадание на открытые участки кожи (например, рук) вызывают ухудшение ее состояния (шелушение, растрескивание).

При работе на установке БИГ-5 на рабочего оказывается световое воздействие, а также происходит выделение химических веществ в воздух рабочей зоны. Влияние химических веществ на организм может привести к возникновению бронхо-легочных заболеваний. При работе на данном участке необходимо обеспечить работников спецодеждой и средствами индивидуальной защиты (наушники, очки, респираторы) для предотвращения воздействия шума и защиты органов зрения и дыхания. Работа в спецодежде и применение средств индивидуальной защиты помогают значительно уменьшить число несчастных случаев, отравлений и профессиональных заболеваний. Из-за нахождения в воздухе вредных веществ (пыли, оксида углерода и др.) на участке ремонта тестоделительных машин необходима приточно-вытяжная вентиляция для исключения серьезных заболеваний и отравлений организма человека.

Пример расчета. Требуется произвести расчет системы вентиляции на участке ремонта тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа.

Требуемый воздухообмен (L, м^3/ч) определяем по формуле:

$$L = к \cdot V, \tag{3}$$

где $к$ – кратность воздухообмена, ч-1; V – объем вентилируемого помещения, м^3.

Для нашего участка принимаем $к = 4$ и $V = 288$ м^3, тогда:

$$L = 4 \cdot 288 = 1152 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Вычисляем производительность вентилятора по известному значению требуемого воздухообмена в помещении участка по формуле:

$$W_в = K_з \cdot L, \tag{4}$$

где $K_з$ – коэффициент запаса воздухообмена, $K_з = 1{,}3\text{-}2{,}0$.

$$W_в = 2{,}0 \cdot 1152 = 2304 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Потери напора в воздухопроводах P, Па определяем по формуле:

$$P = \frac{\upsilon^2 \cdot j}{2} \cdot \left(1 - \frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma \zeta p\right), \quad (5)$$

где υ – скорость движения потока воздуха в воздухопроводе, м/с; j – плотность воздуха, кг/м^3, j = 1,2 кг/м^3; λ – коэффициент потери давления на трение о стенки воздухопровода; l – длина воздухопровода, м; d – диаметр воздухопровода, м; $\Sigma \zeta \rho$ – сумма коэффициентов потери давления в местных сопротивлениях.

Для расчета принято: υ = 10 м/с; для жестяных труб λ = 0,02; l = 8 м.

Диаметр воздуховода вычисляем по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \upsilon \cdot 3600}} \quad . \quad (6)$$

Тогда:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1152}{3{,}14 \cdot 10 \cdot 3600}} = 0{,}2 \text{ м.}$$

Воздуховод системы вентиляции участка имеет пять поворотов на угол 90° и шесть входных жалюзи. Сумма потерь напора на местные сопротивления составит $\Sigma \zeta \rho$ = 8,5.

$$P = \frac{10^2 \cdot 1{,}2}{2} \cdot \left(1 - \frac{0{,}02 \cdot 8}{0{,}2} + 8{,}5\right) = 498 \text{ Па.}$$

Зная величину максимальных потерь и производительность вентилятора, по номограмме выбираем вентилятор центробежного типа №3 серии Ц4-70, производительность которого составляет $W_в$ = 500–3300 м^3/ч, а развиваемый напор – HB = 160–1150 Па [15].

Пользуясь номограммой, определяем число оборотов вентилятора для создания требуемой производительности по формуле:

$$n_в = A/N, \quad (7)$$

где N – номер вентилятора; A – поправочное число номограммы.

Тогда получаем:

$n_в$ = 3500 / 3 = 1167 мин$^{-1}$.

Определяем мощность $P_{дв}$ электродвигателя для вентилятора по следующей формуле:

$$P_{дв} = H_B \cdot W_в/(3{,}6 \cdot 10^6 \cdot \eta_в \cdot \eta). \quad (8)$$

Подставляя значения в формулу (8), получим

$P_{дв}$ = 1150·1512/(3,6·106·0,6·0,9) = 0,89 кВт.

Для привода вентилятора выбираем закрытый обдуваемый электродвигатель 4А71А4У3 мощностью $P_{дв}$ = 1,5 кВт и частотой вращения вала $n_в$ = 1500 мин$^{-1}$.

Выводы. Предложенная методика расчета энергообеспечения производственных постов участка ремонта тестоделительных машин позволяет выявить и устранить вредные факторы от используемого в технологическом процессе оборудования [16, 17]. На участке ремонта тестоделительных машин концентрация вредных примесей в воздухе превышает допустимое значение в 2 раза, а значения шума и вибрации находятся в норме. Для исключения серьезных заболеваний и отравлений организма человека привели пример расчета системы вентиляции, согласно которому выбран электродвигатель необходимой производительности и проходное сечение вентиляционных каналов. Данную методику можно применять для определения опасных и вредных факторов при проектировании производственных участков ремонта других объектов.

Библиографический список

1. Машины и оборудование для цехов и предприятий малой мощности по переработке сельскохозяйственного сырья. М.: Информагротех. 1992. 225 с.

2. Калачев М.В., Хромеенков В.М., Зуева Ю.В. Классификация тестоделителей. Тестоделители зарубежных марок // Хлебопечение России. 2007. N6. С. 22-23.

3. Арабей Е.В. Характеристика оборудования для формования и разделки теста // Вестник современных исследований. 2017. N5-1(8). С. 120-123.

4. Махмадшоев О.Х., Михеев А.В. Оборудование для замеса теста // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. N20. С. 594-596.

5. Алексеев Г.В, Громцев А.С., Леу А.Г. Экспериментальное уточнение условий повышения точности дозирования жидкостей // Техника машиностроения. 2016. Т. 23. N3(99). С. 57-63.

6. Величко С.А., Мартынова Е.Г., Иванов В.И. Оценка предельного состояния тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа по критерию расхода масла // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. N3. С. 448-463.

7. Бурумкулов Ф.Х. Погрешность дозировки и утечка теста в тестоделителях вакуумного типа // Хлебопечение России. 2004. N6. С. 34-37.

8. Бурумкулов Ф.Х. Ремонт тестоделительных устройств вакуумного типа методом электроискровой наплавки // Хлебопечение России. 2004. N2. С. 34-36.

9. Ivanov V.I. Hardening of objects and the increase of their lifetime by the electrospark method: the object classification and the specific features of the technology. Surface engineering and applied electrochemistry. 2010. Vol. 46. N5. 416-423.

10. Игайкина И.И., Миньков Н.А. Анализ и оценка влияния условий труда на работоспособность работников // Сельский механизатор. 2020. N3. С. 38-40.

11. Алибекова И.В., Лактионов К.С. Безопасность труда в строительстве и разработка метода экспресс мониторинга условий труда // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. NS27. С. 3-15.

12. Игайкина И.И., Вишняков Е.В. Комплексная оценка состояния охраны труда на предприятиях АПК // Сельский механизатор. 2022. N10. С. 37-38.

13. Кулакова Е.В. Охрана труда – важнейшая составляющая безопасности жизнедеятельности в развитии АПК // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2015. N4. С. 236-238.

14. Алибекова И.В., Кулакова Е.В. Новые подходы к оценке профессиональных рисков // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. N4. С. 66-70.

15. Анисимов И.М., Фомин А.И. Подходы и критерии оценки состояния безопасности труда на предприятии // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2015. N4. С. 80-84.

16. Лимарев В.Я., Семейкин В.А., Корнеев В.М., Терский С.А., Дорохов А.С. Положение по организации входного контроля качества машиностроительной продукции, поступающей агропромышленному комплексу. М.: Росагроснаб. 2006. 30 с.

17. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Мишина З.Н., Герасимов В.С. Способы поддержки жизненного цикла сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2018. N10. С. 40-43.

References

1. Mashiny i oborudovaniye dlya tsekhov i predpriyatiy maloy moshchnosti po pererabotke sel'skokhozyaystvennogo syr'ya [Machinery and equipment for small capacity workshops and enterprises processing agricultural raw materials]. Moscow: Informagrotekh. 1992. 225 (In Russian).

2. Kalachev M.V., Khromeyenkov V.M., Zuyeva Yu.V. Klassifikatsiya testodeliteley.

Testodeliteli zarubezhnykh marok [Classification of dough dividers. Dough dividers of foreign brands]. Khlebopecheniye Rossii. 2007. N6. 22-23 (In Russian).

3. Arabey E.V. Kharakteristika oborudovaniya dlya formovaniya i razdelki testa [Characteristics of equipment for molding and cutting dough]. Vestnik sovremennykh issledovaniy. 2017. N5-1(8). 120-123 (In Russian).

4. Makhmadshoyev O.Kh., Mikheyev A.V. Oborudovaniye dlya zamesa testa [Equipment for dough kneading]. Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva. 2018. N20. 594-596 (In Russian).

5. Alekseyev G.V, Gromtsev A.S., Leu A.G. Eksperimental'noye utochneniye usloviy povysheniya tochnosti dozirovaniya zhidkostey [Experimental refinement of the conditions for increasing the accuracy of dosing liquids]. Tekhnika mashinostroyeniya. 2016. Vol. 23. N3(99). 57-63 (In Russian).

6. Velichko S.A., Martynova E.G., Ivanov V.I. Otsenka predel'nogo sostoyaniya testodelitel'nykh mashin vakuumno-porshnevogo tipa po kriteriyu raskhoda masla [Evaluation of the limiting state of dough dividers of vacuum piston type according to the criterion of oil consumption]. Inzhenernyye tekhnologii i sistemy. 2020. Vol. 30. N3. 448-463 (In Russian).

7. Burumkulov F.Kh. Pogreshnost' dozirovki i utechka testa v testodelitelyakh vakuumnogo tipa [Dosage error and leakage of dough in vacuum type dough dividers]. Khlebopecheniye Rossii. 2004. N6. 34-37 (In Russian).

8. Burumkulov F.Kh. Remont testodelitel'nykh ustroystv vakuumnogo tipa metodom elektroiskrovoy naplavki [Repair of dough dividing devices of vacuum type by the method of electric spark surfacing]. Khlebopecheniye Rossii. 2004. N2. 34-36 (In Russian).

9. Ivanov V.I. Hardening of objects and the increase of their lifetime by the electrospark method: the object classification and the specific features of the technology. Surface engineering and applied electrochemistry. 2010. Vol. 46. N5. 416-423.

10. Igaykina I.I., Min'kov N.A. Analiz i otsenka vliyaniya usloviy truda na rabotosposobnost' rabotnikov [Analysis and assessment of the impact of working conditions on the performance of employees]. Sel'skiy mekhanizator. 2020. N3. 38-40 (In Russian).

11. Alibekova I.V., Laktionov K.S. Bezopasnost' truda v stroitel'stve i razrabotka metoda ekspress monitoringa usloviy truda [Labor safety in construction and the development of a method for express monitoring of working conditions]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. NS27. 3-15 (In Russian).

12. Igaykina I.I., Vishnyakov E.V. Kompleksnaya otsenka sostoyaniya okhrany truda na predpriyatiyakh APK [Comprehensive assessment of the state of labor protection at agribusiness enterprises]. Sel'skiy mekhanizator. 2022. N10. 37-38 (In Russian).

13. Kulakova E.V. Okhrana truda – vazhneyshaya sostavlyayushchaya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v razvitii APK [Labor protection is the most important component of life safety in the development of the agro-industrial complex]. Uchenyye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye, tekhnicheskiye i meditsinskiye nauki. 2015. N4. 236-238 (In Russian).

14. Alibekova I.V., Kulakova E.V. Novyye podkhody k otsenke professional'nykh riskov [New approaches to the assessment of occupational risks]. Problemy analiza riska. 2018. Vol. 15. N4. 66-70 (In Russian).

15. Anisimov I.M., Fomin A.I. Podkhody i kriterii otsenki sostoyaniya bezopasnosti truda na predpriyatii [Approaches and criteria for assessing the state of labor safety at the enterprise]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti. 2015. N4. 80-84 (In Russian).

16. Limarev V.Ya., Semeykin V.A., Korneev V.M., Tersky S.A., Dorokhov A.S. Polozhenie po organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva mashinostroitel'noy produktsii, postupayushchey agropromyshlennomu kompleksu [Regulations on the organization

of input quality control of machine-building products supplied to the agro-industrial complex]. Moscow: Rosagrosnab. 2006. 30 (In Russian).

17. Ignatov V.I., Dorokhov A.S., Mishina Z.N., Gerasimov V.S. Sposoby podderzhki zhiznennogo tsikla sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Ways to support the life cycle of agricultural machinery]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2018. N10. 40-43 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Кравченко И.Н. – научное руководство, формулирование основной концепции исследования;
Мартынова Е.Г. – сбор и обработка материалов, анализ полученных результатов;
Величко Ю.В. – проведение исследований и подготовка начального варианта текста;
Ярина С.Г. – подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kravchenko I.N. – scientific leadership, formulation of the main concept of the study;
Martynova E.G. – collection and processing of materials, analysis of the results obtained;
Velichko Yu.V. – conducting research and preparing the initial manuscript;
Yarina S.G. – preparation and analysis of literature data, manuscript editing
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-113-123 УДК 621.9.048

Исследование радиусов закругления режущих кромок упрочненных плоских ножей после производственных испытаний

Валентин Павлович Лялякин, доктор технических наук, профессор, главный науный сотрудник, e-mail: valpal-1938@mail.ru;
Вячеслав Федорович Аулов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Юрий Николаевич Рожков, младший научный сотрудник;
Алексей Алексеевич Евсюков, инженер
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Одной из важных характеристик плоских ножей служит радиус закругления режущей кромки. Чем меньше радиус закругления, тем эффективнее происходит процесс резания. С помощью различных методов упрочнения можно добиться уменьшения износа плоских ножей, благодаря чему радиус закругления режущей кромки будет дольше оставаться малым, а нож будет эффективнее скашивать травяные культуры. Наиболее перспективные методы упрочнения ножей – ТВЧ-борирование, ТВЧ-наплавка FeSi, а также комбинированный метод, включающий ТВЧ-борирование и электроискровую обработку. (Цель исследования) Показать динамику изменения радиуса закругления режущей кромки плоских ножей в зависимости от технологии упрочнения и времени их работы. (Материалы и методы) Исследовали ножи из стали 65Г длиной 125 и 150 миллиметров, упрочненные ТВЧ-борированием, ТВЧ-наплавкой FeSi, комбинированным методом, состоящим из ТВЧ-борирования и электроискровой обработки, а также упрочненные ТВЧ-закалкой на заводе-изготовителе. Радиусы закругления режущей кромки плоских ножей измеряли по разработанной методике, состоящей в изготовлении слепков ножей из силикона, просмотре полученных слепков на микроскопе и вычислении радиуса с помощью специального программного обеспечения. (Результаты и обсуждение) Показали, что все три технологии способствуют уменьшению динамики изменения радиусов закругления режущих кромок. Выявили, что наилучшей технологией упрочнения оказалась комбинированная обработка, а наихудшей – ТВЧ-наплавка FeSi. (Выводы) Измерили радиусы скругления режущих кромок. Построили гистограммы средних радиусов упрочненных ножей в зависимости от технологии упрочнения и скошенной площади. Определили, что упрочнение ножей уменьшает динамику изменения радиусов скругления режущих кромок.*

Ключевые слова: *нож, радиус закругления режущей кромки, износостойкость, ресурс, упрочнение, ТВЧ-борирование, электроискровая обработка.*

Для цитирования: *Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Евсюков А.А. Исследование радиусов закругления режущих кромок упрочненных плоских ножей после производственных испытаний // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 113-123. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-113-123. EIJQBW.*

INVESTIGATION OF CUTTING EDGE RADIUS OF HARDENED FLAT KNIVES AFTER PRODUCTION TESTS

Valentin P. Lyalyakin, Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher;
Vyacheslav F. Aulov, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Yuriy N. Rozhkov, junior researcher;
Aleksey A. Evsyukov, engineer;
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *One of the important characteristics of flat knives is the radius of rounding of the cutting edge. The smaller the radius of rounding, the more efficient the cutting process is. With the help of various hardening methods, it is possible to reduce the wear of flat knives, so that the radius of rounding of the cutting edge will remain small for longer, and the knife will mow grass crops more efficiently. The most promising methods of knife hardening are HDPE boring, HDPE surfacing FeSi, as well as a combined method including HDPE boring and electric spark treatment. (Research purpose) The research purpose is studying the changes in the radius of the cutting edge of flat knives depending on the hardening technology and the time of their operation. (Materials and methods) Knives made of 65G steel with a length of 125 and 150 millimeters, hardened by HDPE boration, HDPE surfacing by FeSi, a combined method consisting of HDPE boration and electric spark treatment, as well as hardened by HDPE quenching at the manufacturer, were studied. The radii of rounding of the cutting edge of flat knives were measured according to the developed technique, consisting in the production of knife casts made of silicone, viewing the resulting casts on a microscope and calculating the radius using special software. (Results and discussion) It was shown that all three technologies contribute to reducing the dynamics of changes in the radii of rounding of the cutting edges. It was revealed that the best hardening technology was combined processing, and the worst was HDPE surfacing FeSi. (Conclusions) The radii of rounding of the cutting edges were measured. Histograms of the average radii of hardened knives were constructed depending on the hardening technology and the beveled area. It was determined that the hardening of the knives reduces the dynamics of changes in the radii of the rounding of the cutting edges.*

Keywords*: knife, cutting edge radius, wear resistance, service life, hardening, high-frequency borating, electrospark machining.*

For citation: *Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Rozhkov Yu.N., Evsyukov A.A. Issledovaniye radiusov zakrugleniya rezhushchikh kromok uprochnennykh ploskikh nozhey posle proizvodstvennykh ispytaniy [Investigation of cutting edge radius of hardened flat knives after production tests]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 113-123 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-113-123. EIJQBW.*

Введение. Известно, что измельчение стебельной массы в большинстве случаев осуществляется резанием [1-5]. Согласно теории В.П. Горячкина, полная работа $A_{ПОЛН}$ Дж, затрачиваемая на резание, служит результатом затрат энергии на сжатие продукта лезвием ножа $A_{СЖ}$ и на полезную работу $A_П$ [4, 5]:

$$A_{ПОЛН} = A_{СЖ} + A_П, \quad (1)$$

где $A_{СЖ}$ – энергия, затраченная на сжатие продукта лезвием ножа, Дж;

$A_П$ – энергия, затраченная на полезную работу, Дж.

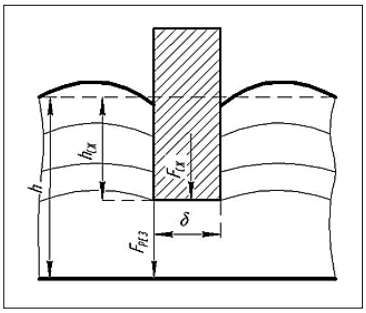


Рис. 1. Расчетная схема процесса резания:
h – первоначальная высота слоя, м; $h_{СЖ}$ – высота слоя сжатия, м;
δ – толщина лезвия ножа, м; l – длина слоя материала вдоль лезвия ножа, м;
FРЕЗ – нормально направленная сила резания, Н

Если принять лезвие ножа прямоугольной формы, то согласно *рисунку* 1, составляющие равенства (1) при резании слоя материала, могут быть представлены следующим образом.

Работу на сжатие определяли по формуле:

$$A_{СЖ} = l\delta\sigma h_{СЖ}, \quad (2)$$

где l – длина слоя материала вдоль лезвия ножа, м;

δ – заданная толщина режущей кромки ножа, м;

σ– допустимое напряжение на сжатие, Па;

$h_{СЖ}$ – высота слоя сжатия, м.

Полезную работу на резание можно вычислить по выражению:

$$\tau A_{П} = l(h\text{-}h_{СЖ})\tau(h\text{-}h_{СЖ}) \quad (3)$$

где τ – допустимое напряжение на срез, Па;

h – первоначальная высота слоя, м.

Тогда с учетом уравнений (1), (2), (3) получим:

$$A_{ПОЛН} = l\delta\sigma h_{СЖ} + (h\text{-}h_{СЖ})^2\tau. \quad (4)$$

Их этих уравнений можно вывести выражение для оптимальной толщины ножа, которое после преобразований выглядит следующим образом:

$$\delta = 0{,}17h_{сж} + 0{,}17h \cdot \quad (5)$$

Полученное выражение позволяет проанализировать зависимость остроты лезвия (радиуса скругления) как от высоты слоя сжатия (при $h = const$), так и от высоты исходного слоя (при $h_{сж} = const$) или от обоих параметров высоты слоя при известной зависимости между ними.

При большей износостойкости материала плоского ножа радиус закругления режущей кромки увеличивается с меньшей скоростью [6, 7].

В качестве метода упрочнения как правило применяется ТВЧ-закалка, но также есть и другие методы, позволяющие получить большую износостойкость, такие как ТВЧ-борирование, ТВЧ-наплавка *FeSi*, комбинированный метод, состоящий из ТВЧ-борирования и электроискровой обработки [8-10].

Цель исследования – показать динамику изменения радиуса закругления режущей кромки плоских ножей в зависимости от технологии упрочнения и времени их работы.

Материалы и методы. Для исследования были выбраны плоские ножи из стали 65Г, упрочненные по различным технологиям. Изучали длинные

ножи с длиной режущей кромки 150 мм и короткие ножи с длиной режущей кромки 125 мм. Все 24 ножа были разделены на 3 группы по 8 ножей. В каждой группе было 4 ножа, упрочненных по одной из следующих технологий: ТВЧ-борирование, ТВЧ-наплавка *FeSi* и комбинированная обработка, включающая ТВЧ-борирование и электроискровую обработку сплавом Т15К6. Также в каждой группе было 4 ножа, упрочненных закалкой ТВЧ на заводе-изготовителе. Ножи были установлены на 3 косилки КРН 2.1, на каждую из которых установили по одной из выше перечисленных групп. Для каждой партии фиксировали наработку в га скошенной площади трав.

Разработали методику исследования профиля режущей кромки ножей для сельскохозяйственной техники. В ее основу положено повышение точности измерений за счет изготовления слепков с исследуемого ножа. Сущность предлагаемой методики заключается в следующем.

Создается силиконовый слепок исследуемого ножа для последующего исследования на микроскопе. Для реализации предложенной методики разработали технологию и оснастку для изготовления силиконовых слепков, которые показали на *рисунке 2*.

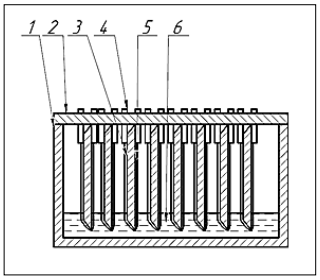


Рис. 2. Оснастка для изготовления силиконовых слепков сельскохозяйственных ножей: 1 – ванна; 2 – крышка; 3 – нож; 4 – фиксирующий штифт; 5 – проволока; 6 – силикон

Оснастка для изготовления силиконового слепка состоит из ванны 1, крышки 2, фиксирующих штифтов 4 (вместо них допускается применять винты) и проволоки 5. Технология изготовления силиконовых слепков плоских ножей заключается в следующем. Исследуемый нож 3 очищают от загрязнений, обезжиривают и обрабатывают разделительным составом, в качестве которого могут выступать составы на восковой основе, касторовом или вазелиновом масле. Также разделительным составом обрабатывают внутреннюю поверхность ванны 1. Ножи крепят к крышке 2 с помощью четырех фиксирующих штифтов 4 и проволоки 5. Фиксирующие штифты также предотвращают поворот ножа. Затем изготавливают силиконовую смесь 6 путем смешивания сырого силикона и отвердителя в пропорциях, указанных в инструкции к применению модельного силикона. Силикон перемешивают и заливают в ванну 1. После ножи погружают в силикон и оставляют в нем до полного отверждения силиконовой смеси. Силикон 6 копирует профиль режущей кромки ножа 3.

После отверждения ножи вынимают из силикона. Полученные слепки маркируют в соответствии с исследуемыми ножами и разрезают перпендикулярно поверхности слепка в необходимых для исследования точках так, что было возможно увидеть профиль поперечного сечения ножа (*рис. 3*).

Далее полученный слепок исследовали на микроскопе *Olympus GX-51*. Силиконовый слепок поместили на стол микроскопа, подобрали увеличение и провели калибровку в соответствии с инструкцией на микроскоп.

С помощью специализированного программного обеспечения на мони-

торе компьютера можно рассмотреть и обработать изображение увеличенного профиля слепка поперечного сечения ножа. Кратность увеличения составляет х5.

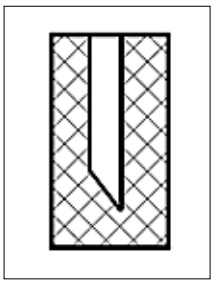


Рис. 3. Поперечное сечение слепка ножа

Исследование профиля ножа состоит из следующих этапов:

- в протоколе отмечается состояние и профиль слепка. Записывается состояние ножа, особые точки, положение секущих плоскостей относительно торца ножа, дефекты ножа (сколы, выбоины, выкрашивание кромки, затупление, деформация);

- измерение радиуса закругления режущей кромки. Поверх изображения профиля слепка ножа чертится окружность, радиус которой совпадает с радиусом закругления отпечатка режущей кромки. Программное обеспечение позволяет вычислить радиус полученной окружности, который можно принять за радиус закругления режущей кромки (*рис. 4*).

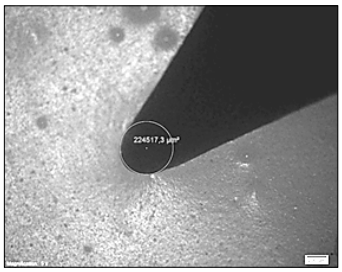


Рис. 4. Фотография слепка на микроскопе

Для оценки полученных значений использовали математическое ожидание m:

$$m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1} x_i \,, \tag{6}$$

где x_i– результат i-го измерения из n результатов.

В качестве характеристики разброса значений вычислили среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1} (x_i - m)^2} \,. \tag{7}$$

Для исключения из экспериментальных данных грубых ошибок использовали критерий Стьюдента:

$$t_{\text{оп}} = \frac{|x_i - m|}{\sigma} \,, \tag{8}$$

где x_i – значение предполагаемого промаха.

Если экспериментальное значение критерия $t_{оп}$ больше табличного значения $t_{0,05}$ при уровне значимости 0,05, то это значение считается грубой ошибкой и исключается из выборки, при необходимости проводится дополнительное испытание.

Результаты и обсуждение. Результаты измерений радиусов ножей представлены в *таблицах 1-6*.

Таблица 1

Радиусы закругления кромок ножей на косилке №1, упрочненных ТВЧ-борированием

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	*m, мм*	*σ*, мм	Критерий Стьюдента
4	33,1	0,104	0,18	0,16	0,011	1,997
		0,072	0,15			0,743
		0,079	0,16			0,082
25		0,091	0,17	0,20	0,019	1,554
		0,143	0,21			0,697
		0,146	0,22			0,829
5 (длинный)		0,114	0,19	0,18	0,010	1,074
		0,116	0,19			1,187
		0,088	0,17			1,257
6 (длинный)		0,015	0,07	0,29	0,010	7,088
		0,071	0,15			0,995
		0,046	0,12			1,854

Таблица 2

Радиусы закругления кромок ножей, упрочненных ТВЧ-закалкой на заводе-изготовителе, на косилке №1

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	*m, мм*	*σ*, мм	Критерий Стьюдента
5	33,1	0,142	0,21	0,29	0,052	1,476
		0,422	0,37			1,479
		0,274	0,30			0,105
6		0,668	0,46	0,37	0,077	1,185
		0,194	0,25			1,573
		0,467	0,39			0,204
5 (длинный)		0,139	0,21	0,26	0,047	1,047
		0,180	0,24			0,43
		0,344	0,33			1,513
6 (длинный)		0,802	0,51	0,34	0,112	1,479
		0,390	0,35			0,111
		0,097	0,18			1,464

Таблица 3

Радиусы закругления кромок ножей на косилке №2, упрочненных ТВЧ-наплавкой FeSi

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	m, мм	*σ*, мм	Критерий Стьюдента
22	48,5	0,029	0,10	0,13	0,025	1,358
		0,092	0,17			1,655
		0,059	0,14			0,261
1(длинный)	14,5	0,143	0,21	0,20	0,008	1,659
		0,512	0,40			25,490
		0,122	0,20			0,404
2 (длинный)		0,061	0,14	0,16	0,027	0,758
		0,122	0,20			1,366
		0,054	0,13			1,090

Таблица 4

Радиусы закругления кромок ножей, упрочненных ТВЧ-закалкой на заводе-изготовителе на косилке №2

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	m, мм	σ, мм	Критерий Стьюдента
3	48,5	0,184	0,24	0,26	0,030	0,586
		0,172	0,23			0,849
		0,287	0,30			1,425
4		0,054	0,13	0,13	0,005	0,346
		0,052	0,13			0,150
		0,063	0,14			2,496
3 (длинный)	14,5	0,193	0,25	0,20	0,041	1,181
		0,058	0,14			1,559
		0,140	0,21			0,276
4 (длинный)		0,307	0,31	0,35	0,042	0,879
		1,574	0,71			8,525
		0,495	0,40			1,123

Таблица 5

Радиусы закругления кромок ножей на косилке №3, упрочненных комбинированной обработкой

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	m, мм	σ, мм	Критерий Стьюдента
14	52,3	0,068	0,15	0,14	0,008	0,828
		0,229	0,27			16,246
		0,052	0,13			1,417
19		0,120	0,20	0,20	0,010	0,446
		0,120	0,20			0,446
		0,156	0,22			2,312
3 (длинный)		0,082	0,16	0,15	0,030	0,380
		0,103	0,18			1,034
		0,031	0,10			1,678
4 (длинный)		0,152	0,22	0,2	0,01	2,017
		0,120	0,20			0,463
		0,114	0,19			0,907

Таблица 6

Радиусы закругления кромок ножей, упрочненных ТВЧ-закалкой на заводе-изготовителе на косилке №3

Номер ножа	Наработка, га	Площадь, мм²	Радиус, мм	m, мм	σ, мм	Критерий Стьюдента
1	52,3	0,224	0,27	0,28	0,007	1,844
		0,250	0,28			0,309
		0,256	0,29			0,790
2		0,613	0,44	0,40	0,047	0,890
		0,328	0,32			1,634
		0,555	0,42			0,434
1 (длинный)		0,297	0,31	0,37	0,043	1,452
		0,521	0,41			0,868
		0,511	0,40			0,777
1 (длинный)		0,335	0,33	0,34	0,047	0,284
		0,518	0,41			1,408
		0,236	0,27			1,401

После выполнения всех этапов построили гистограммы с радиусами закругления упрочненных ножей и ножей, упрочненных ТВЧ закалкой на заводе-изготовителе при одинаковой наработке. Гистограммы представлены на *рисунках 5-7.*

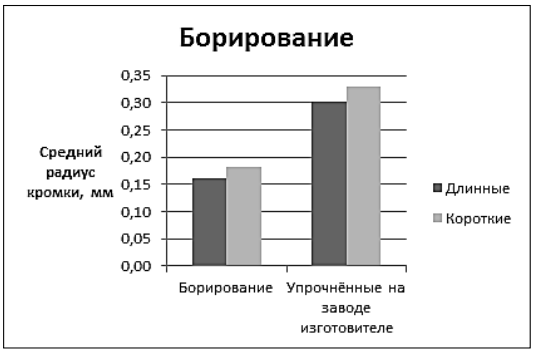


Рис. 5. Радиусы закругления кромок ножей после ТВЧ-борирования после скашивания трав на 33,1 га

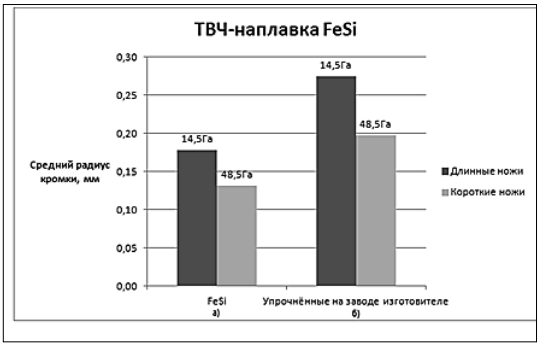


Рис. 6. Радиусы закругления кромок ножей после ТВЧ-наплавки FeSi после скашивания: а – 14,5 и 48,5 га; б – 14,5 и 48,5 га

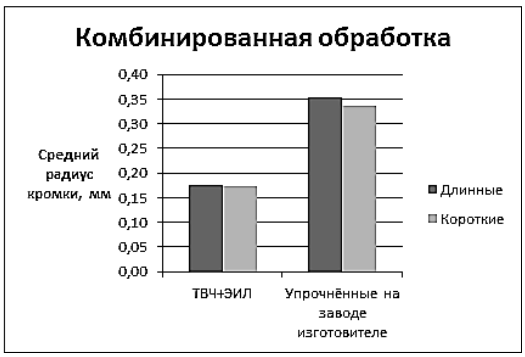


Рис. 7. Радиусы закругления кромок ножей при комбинированной обработке после скашивания трав на 52,3 га

Выводы. Исследование радиуса закругления режущей кромки плоских ножей после производственных испытаний с разной наработкой подтвердило влияние технологии упрочнения на изменение радиуса закругления. При упрочнении режущей кромки ее радиус увеличивается с меньшей скоростью. Рекомендуется после упрочнения провести заточку ножа, чтобы придать кромке заданную величину радиуса закругления. Лучшей технологией упрочнения плоских ножей следует считать комбинированный ме-

тод ТВЧ и электроискровое легирование [11-15].

Величина среднего радиуса закругления кромок ножей после 52,3 га убранной площади составляет 0,16 мм, тогда как средний радиус закругления у ножей, упрочненных на заводе-изготовителе ТВЧ-закалкой, составил после 52,3 га убранной площади 0,35 мм (уменьшено на 54%).

Библиографический список

1. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А., Корчагина Е.Е. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированны ми ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. N1(13). С. 23-33.

2. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Исследование измельчающих аппаратов незерновой части урожая зерновых культур с шарнирной подвеской ножей на барабане // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. N3(7). С. 9-16.

3. Вендин С.В., Саенко Ю.В. К расчету конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. N1(17). С. 16-31.

4. Вендин С.В., Булавин С.А., Саенко Ю.В. Обоснование частоты вращения ножей дробилки пророщенного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. N4. С. 9-12.

5. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение. 1975. 311 с.

6. Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В., Ишков А.В., Щеголев А.В. Об эффективности различных вариантов упрочнения ножей измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. N9(167). С. 151-158.

7. Иванов В.И., Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н. Эффективность эксплуатации ножей-измельчителей отечественного и импортного производства, используемых в сельскохозяйственных машинах // Технический сервис машин. Т. 58. 2020. N2(139). С. 149-154.

8. Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В., Новиков В.С., Коневцов Л.А. Экспериментальные исследования износостойкости образцов из стали 65г и с покрытием скоростным ТВЧ-борированием // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9. N2-2. С. 507-511.

9. Исследование особых структурных эффектов в сплавах Fe-C-Si. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия. 2003. 140 с.

10. Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н. К вопросу о совмещении электроискрового и термо-диффузионного методов для упрочнения поверхностей деталей машин АПК // Техника и оборудование для села. 2022. N2(296). С. 28-32.

11. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

12. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

13. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. N3. С. 32-37.

14. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Павлов В.А. Технологические особенности восстановления валов плазменной наплавки // Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т. 16. N12. С. 566-569.

15. Erokhin M.N., Dorodov P.V., Dorokhov A.S. Stress concentration and shape

optimization for a fillet surface of a step-shaped shaft. Journal of Mashintry Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. N3. 214-223.

References

1. Vol'vak S.F., Bakharev D.N., Vertiy A.A., Korchagina E.E. Teoreticheskoye obosnovaniye zatrat moshchnosti na izmel'cheniye stebel'chatykh kormov izmel'chitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami [Theoretical justification of the power costs for chopping stalked feeds with a chopper with hinged combined knives]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2017. N1(13). 23-33 (In Russian).

2. Vol'vak S.F., Shapovalov V.I. Issledovaniye izmel'chayushchikh apparatov nezernovoy chasti urozhaya zernovykh kul'tur s sharnirnoy podveskoy nozhey na barabane [Study of grinding machines of the non-grain part of the grain crop with a hinged suspension of knives on the drum]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2015. N3(7). 9-16 (In Russian).

3. Vendin S.V., Sayenko Yu.V. K raschetu konstruktivnykh parametrov nozhey dlya izmel'cheniya proroshchennogo zerna [Calculation of design parameters of knives for grinding sprouted grain]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2018. N1(17). 16-31 (In Russian).

4. Vendin S.V., Bulavin S.A., Sayenko Yu.V. Obosnovaniye chastoty vrashcheniya nozhey drobilki proroshchennogo zerna [Justification of the rotation speed of the blades of the sprouted grain crusher]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2015. N4. 9-12 (In Russian).

5. Reznik N.E. Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov [The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1975. 311 (In Russian).

6. Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V., Shchegolev A.V. Ob effektivnosti razlichnykh variantov uprochneniya nozhey izmel'chitelya-razbrasyvatelya solomy zernouborochnogo kombayna [Effectiveness of various options for strengthening the blades of the shredder-spreader straw combine harvester]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. N9(167). 151-158 (In Russian).

7. Ivanov V.I., Aulov V.F., Rozhkov Yu.N. Effektivnost' ekspluatatsii nozhey-izmel'chiteley otechestvennogo i importnogo proizvodstva, ispol'zuyemykh v sel'skokhozyaystvennykh mashinakh [Efficiency of operation of domestic and imported shredder knives used in agricultural machines] // Tekhnicheskiy servis mashin. Vol. 58. 2020. N2(139). 149-154 (In Russian).

8. Aulov V.F., Rozhkov Yu.N., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V., Novikov V.S., Konevtsov L.A. Eksperimental'nyye issledovaniya iznosostoykosti obraztsov iz stali 65g i s pokrytiyem skorostnym TVCh-borirovaniyem [Experimental studies of wear resistance of samples made of 65g steel and coated with high-speed HDPE boration]. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2018. Vol. 9. N2-2. 507-511 (In Russian).

9. Issledovaniye osobykh strukturnykh effektov v splavakh Fe-C-Si [Investigation of special structural effects in Fe-C-Si alloys]. Bryansk: Bryanskaya gosudarstvennaya inzhenerno-tekhnologicheskaya akademiya. 2003. 140 (In Russian).

10. Aulov V.F., Rozhkov Yu.N. K voprosu o sovmeshchenii elektroiskrovogo i termo-diffuzionnogo metodov dlya uprochneniya poverkhnostey detaley mashin APK [Combining electric spark and thermal diffusion methods for hardening the surfaces of parts of agricultural machinery]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2022. N2(296). 28-32 (In Russian).

11. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

12. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten

carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

13. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Lyalyakin V.P. Praktika primeneniya plazmenno-poroshkovoy naplavki pri vosstanovlenii iznoshennykh detaley mashin [The practice of using plasma-powder surfacing in the restoration of worn machine parts]. Tekhnologiya mashinostroeniya. 2019. N3. 32-37 (In Russian).

14. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Pavlov V.A. Tekhnologicheskie osobennosti vosstanovleniya valov plazmennoy naplavki [Technological features of restoration of plasma surfacing shafts]. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2018. Vol. 16. N12. 566-569 (In Russian).

15. Erokhin M.N., Dorodov P.V., Dorokhov A.S. Stress concentration and shape optimization for a fillet surface of a step-shaped shaft. Journal of Mashintry Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. N3. 214-223.

Заявленный вклад соавторов

Лялякин *В.П. – научное руководство, анализ и доработка текста;*
Аулов В.Ф. – редактирование текста, анализ литературных данных;
Рожков Ю.Н. – анализ литературных данных, подготовка образцов к исследованиям, выполнение измерений, математическая обработка измерений;
Евсюков А.А. – подготовка и анализ литературных данных, подготовка текста, математическая обработка данных, разработка методики исследований.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Lyalyakin V.P. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript;
Aulov V.F. – editing the manuscript, analysis of literary data;
Rozhkov Yu.N. – analysis of literature data, preparation of samples for research, measurements, mathematical processing of measurements;
Evsyukov A.A. – preparation and analysis of literature data, preparation of the manuscript, mathematical data processing, development of research methods.
All the authors read and approved the final manuscript.

(cc) BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-124-130 УДК 621.791.927.5

Восстановление металлоформ для центробежного литья труб из высокопрочного чугуна дуговой наплавкой

[1,2]Дмитрий Борисович Слинко, кандидат технических наук, доцент
e-mail: maks52@inbox.ru;
[1]Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация
[2]Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время металлоформы для отливки чугунных труб работают в тяжелых температурно-деформационных условиях, в результате чего они выходят из строя из-за износа их внутренней поверхности и образования там же трещин и сетки разгара. (Цель исследования) Изучить возможность бездефектной восстановительной наплавки внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева в среде защитных газов. (Материалы и методы) Все работы по отработке технологии наплавки металлоформ проводили на образцах, вырезанных из оригинальных металлоформ. Приняли за основу способ дуговой наплавки в среде защитных газов. Опробовали для наплавки различные сварочные проволоки и защитные среды. Оценку качества наплавки на наличие пор и трещин до и после механической обработки проводили визуально с последующим определением химического состава и твердости наплавленного слоя. (Результаты и обсуждение) Осуществляли наплавку на внутренние поверхности образцов без их предварительного подогрева. Для наплавки опробовали различные проволоки: Св-18ХГС, Св-18ХМ и Нп-30ХГСА из расчета получения в наплавленном слое состава, близкого к составу основного металла. В результате для восстановительной наплавки была выбрана сварочная проволока Св-18ХМА диаметром 2,0 миллиметра, а в качестве защитной среды – сварочная смесь, обеспечивающие на выбранных режимах удовлетворительное формирование наплавленного слоя без пор и трещин с минимальным разбрызгиванием. Провели исследования по определению твердости и химического состава наплавленного слоя и основного металла металлоформ. (Выводы) Предложили технологию восстановительной наплавки внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева. Сравнительный анализ твердости и химического состава наплавленного слоя и основного металла металлоформ показал в них сопоставимый уровень твердости и легирующих элементов, что позволит обеспечить необходимые износо- и термостойкость восстановленных металлоформ.*

Ключевые слова: *металлоформы, восстановительная наплавка, сварочные проволоки, защитный газ, наплавленный металл, твердость, химический состав.*

Для цитирования: *Слинко Д.Б., Чавдаров А.В. Восстановление металлоформ для центробежного литья труб из высокопрочного чугуна дуговой наплавкой // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 124-130. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-124-130. JYJLPG.*

Restoration of metal molds for centrifugal casting of pipe from high-strength iron by arc welding

[1,2]Dmitriy B. Slinko, Ph.D.(Eng.), associate professor;
[1]Anatoliy V. Chavdarov, Ph.D.(Eng.)
[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation
State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Currently, metal molds for casting cast-iron pipes operate under severe temperature and deformation conditions, as a result of which they fail due to wear of their inner surface and the formation of cracks and a mesh of heat in the same place. (Research purpose) The research purpose is studying the possibility of defect-free restorative surfacing of the inner surface of metal molds without preheating in the environment of protective gases. (Materials and methods) All work on the development of the metalform surfacing technology was carried out on samples cut from the original metalforms. The method of arc surfacing in the environment of protective gases was taken as a basis. Various welding wires and protective media were tested for surfacing. Assessment of the surfacing quality for the presence of pores and cracks before and after mechanical treatment was carried out visually, followed by determination of the chemical composition and hardness of the deposited layer. (Results and discussion) Surfacing was carried out on the inner surfaces of the samples without preheating them. Various wires were tested for surfacing: Sv-18XGS, Sv-18XM and Np-30XGSA based on obtaining a composition close to the composition of the base metal in the deposited layer. As a result, Sv-18XMA welding wire with a diameter of 2.0 millimeters was chosen for the restorative surfacing, and a welding mixture was used as a protective medium, ensuring satisfactory formation of the deposited layer without pores and cracks with minimal splashing in the selected modes. Studies were carried out to determine the hardness and chemical composition of the deposited layer and the base metal of metal forms. (Conclusions) Proposed a technology for reducing the surfacing of the inner surface of metal molds without preheating. A comparative analysis of the hardness and chemical composition of the deposited layer and the base metal of the metal forms showed a comparable level of hardness and alloying elements in them, which will ensure the necessary wear and heat resistance of the restored metal forms.*

Keywords: *metal molds, recovery surfacing, welding wires, shielding gas, deposited metal, hardness, chemical composition.*

For citation: *Slinko D.B., Chavdarov A.V. Vosstanovleniye metalloform dlya tsentrobezhnogo lit'ya trub iz vysokoprochnogo chuguna dugovoy naplavkoy [Restoration of metal molds for centrifugal casting of pipe from high-strength iron by arc welding]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 124-130 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-124-130. JYJLPG.*

Введение. В настоящее время повышение производительности и снижение стоимости процесса отливки чугунных труб центробежным способом сдерживается низкой износо- и термостойкостью металлоформ, работающих в тяжелых температурно-деформационных условиях. Это связано с тем, что в процессе заливки чугуна во внутреннюю полость формы при температуре 1260-1320°С ее наружную поверхность охлаждают водой, циркулирующей в системе охлаждения. Такой перепад температур приводит к образованию значительных термических напряжений. Затем следует очередная заливка и следующий тепловой удар. После 500-800 заливок металлоформы, выполненные из хромомолибденовой стали марки 20ХМ, выходят

из строя в результате износа их внутренней поверхности, а также образования трещин (исчерпание ресурса пластичности) и сетки разгара (характеристики жаропрочности и жаростойкости) (Сталь для изготовления металлоформ: пат. 2263724 Рос. Федерация МПК С22С38/46. / Лужанский И.Б. заявл.11.09.2003. опубл. 10.11.2005). Известно, что хромомолибденовые стали обладают пониженной свариваемостью, что приводит к необходимости проведения при сварке ряда технологических приемов, связанных, в первую очередь, с использованием подогрева и термической обработкой сварного изделия для устранения структурной неоднородности и остаточных сварочных напряжений. Исключение составляют сварные соединения из хромомолибденовых сталей 12ХМ и 15ХМ толщиной менее 10 мм [1-4]. При наплавке, в отличии от сварочного термического цикла, процесс нагрева изделия, в частности металлоформ, является более длительным и составляет десятки минут. Такой термический цикл обеспечивает самоподогрев всего изделия в процессе наплавки и может уменьшить структурную неоднородность и остаточные сварочные напряжения и, как следствие, образование трещин.

Цель исследования – изучить возможность бездефектной восстановительной наплавки внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева в среде защитных газов.

Материалы и методы. Все работы по отработки технологии наплавки металлоформ проводили на образцах, вырезанных из оригинальных металлоформ, в соответствии с *рисунком* 1. Металлоформы были изготовлены из хромомолибденовой стали марки 20ХМ, твердость внутренней поверхности которых составляла 200-220 НВ.

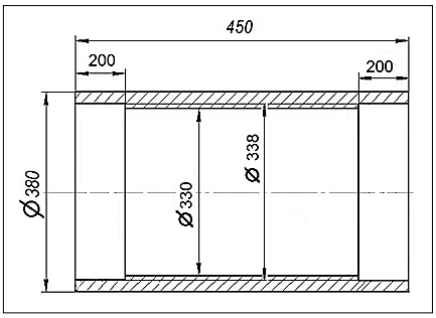


Рис. 1. Образец металлоформы для опытной наплавки

За основу технологии восстановления металлоформ был принят способ дуговой наплавки в среде защитных газов, широко применяемый при восстановительной наплавке сталей [5]. Наплавку выполняли на специализированной установке, которая была доработана для возможности проведения на ней наплавки внутренней поверхности образцов [6, 7]. Наплавку производили с использованием полуавтомата UNIMIG-418T с водоохлаждаемой горелкой на 400 А. Образец металлоформы устанавливали на ролики специального неподвижного люнета. Передачу вращения с заданной частотой вращения от шпинделя к образцу осуществляли через специальную оснастку, которую закрепляли на планшайбе вращателя. Радиальное биение наплавляемой внутренней поверхности при вращении устанавливали по индикатору. Горелку для наплавки закрепляли на стойке с вынесенной направляющей–консолью для возможности ведения наплавки внутренней поверхности. Горелку устанавливали так, чтобы от торца сопла до наплавляемой поверхности было расстояние 8-12 мм, а от торца наконечника до торца сопла – около 5 мм. Полюсное смещение оси сопла горелки относительно осевой вертикальной плоскости металлоформы

составляло 10 мм. Взаимное расположение сопла горелки с наконечником относительно наплавляемой поверхности представили на *рисунке* 2.

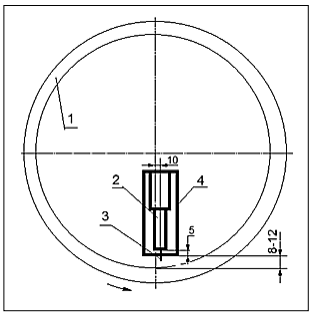


Рис. 2. Расположение горелки относительно наплавляемой поверхности: 1 – образец металлоформы; 2 – наконечник; 3 – электродная проволока; 4 – сопло

Результаты и обсуждение. Наплавку производили на внутренние поверхности образцов без предварительного подогрева наплавляемых поверхностей по винтовой линии на длине 200 мм от краев образца с каждой стороны в один и два слоя в зависимости от величины поврежденной поверхности. Чертеж образца металлоформы после наплавки показали на *рисунке* 3.

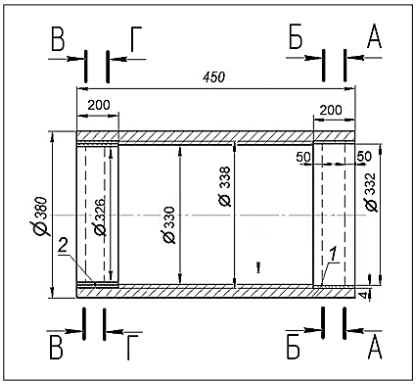


Рис. 3. Образец металлоформы после наплавки: 1 – наплавка в один слой; 2 – наплавка в два слоя (пунктиром показаны плоскости измерения твердости наплавленного слоя)

Для наплавки были опробованы различные проволоки: Св-18ХГС, Св-18ХМА (ГОСТ2246-70) и $H_п$-30ХГСА (ГОСТ 10543-98) из расчета получения в наплавленном слое состава, близкого к составу основного металла.

В качестве защитных газов были опробованы различные защитные среды: двуокись углерода CO_2, аргон Ar и сварочная смесь, состоящая из двуокиси углерода 20% и аргона 80%.

При наплавке проволоками Св-18ХГС и $H_п$-30ХГСА в вышеуказанных защитных средах качество наплавки было неудовлетворительным, так как в наплавленном слое было много пор и наблюдалось сильное разбрызгивание металла в процессе наплавки. При наплавке проволокой Св-18ХМА и использовании в качестве защитной среды вышеуказанных газов лучшие результаты были получены при использовании сварочной смеси. Качество шва было удовлетворительное, разбрызгивание минимальное. Внешний вид наплавленной поверхности представили на *рисунке* 4.

В результате проведения серии опытных наплавок сварочной проволокой Св-18ХМА ∅2,0 мм в сварочной смеси были отработаны режимы на-

плавки, обеспечивающие удовлетворительное формирование наплавленного слоя с минимальным разбрызгиванием без пор и трещин (*табл.1*).

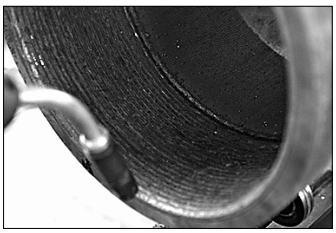


Рис. 4. Внешний вид наплавленной поверхности

Таблица 1

Режимы наплавки образца металлоформы

N (частота вращения образца), об/мин	2,40
S (продольная подача горелки), мм/об	7-8
Iсв (величина сварочного тока), А	290-310
$U_Д$ (напряжение на дуге), В	30-34
Δ (толщина наплавленного слоя), мм	3,2
H (расход защитного газа (сварочная смесь), л/мин	10-12

Предварительную оценку качества наплавленного слоя до и после механической обработки проводили визуально на наличие пор и трещин. Толщина первого наплавленного слоя составляла 3,2 мм. Наплавку второго слоя осуществляли по первому наплавленному слою без предварительной обработки. Толщина двух наплавленных слоев составляла 5,8 мм. После наплавки проводили токарную обработку до выведения неровностей наплавленных слоев для проведения дальнейших исследований. Контроль состояния обработанных наплавленных слоев выполняли визуально при помощи лупы типа ЛИ 4-5 кратного увеличения по ГОСТ25706-83. Твердость наплавленных слоев измеряли после механической обработки переносным твердомером марки ТЭМП-2 в четырех точках по диаметру наплавленной поверхности, при этом первая плоскость измерения твердости отстояла на 50 мм от торца наплавляемой трубы, а вторая плоскость измерения распологалась на расстоянии 100 мм от первой плоскости внутри трубы.

Со второго конца трубы наплавку производили в два слоя. Измерение твердости второго наплавленного слоя выполняли аналогичным способом. Данные измерения твердости для двух наплавленных образцов металлоформ по шкале НВ привели в *таблице* 2.

Таблица 2

Данные измерения твердости наплавленных слоев по шкале НВ

Номер образца	**Номер точки**	**Наплавка в 1 слой**		**Наплавка в 2 слоя**	
		сечение А	**сечение Б**	**сечение В**	**сечение Г**
1	1	239	237	203	196
	2	244	241	198	209
	3	234	239	208	201
	4	247	240	201	203
2	1	238	236	201	198
	2	242	242	199	207
	3	236	238	206	200
	4	244	244	203	201

После наплавки определяли химический состав наплавленного слоя на рентгено-флуоресцентном спектрометре марки *NITON*. Сравнительные дан-

ные химического состава наплавленного слоя и основного металла металлоформ представили в *таблице 3*.

Таблица 3

Химический состав наплавленного и основного металлов

Наименование химического элемента	Наплавленный металл		Основной металл
	данные ЦЗЛ *	данные ВИМ	20ХМ
C	0,186	-	0,15-0,25
Si	0,57	0,635	0,17-0,37
Cr	1,1	0,67	0,8-1,1
Mn	1,47	1,39	0,4-0,7
Mo	0,327	0,1	0,15-0,25
Ni	0,28	0,1	≤ 0,3
Fe	-	96,41	-

** анализ химического состава выполнен ЦЗЛ Липецкого трубного завода «Свободный сокол»*

Таким образом, восстановительная наплавка внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева с использованием сварочной проволоки марки Св-18ХМА и сварочной смеси в качестве защитного газа обеспечивает удовлетворительное формирование наплавленных слоев без пор и трещин [8-10]. При этом сравнительные анализы твердости и химического состава наплавленного слоя и основного металла металлоформ показали в них сопоставимые уровни твердости и легирующих элементов, что позволит обеспечить необходимые износо- и термостойкость восстановленных металлоформ.

Выводы. Предложили технологию восстановительной наплавки внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева. Восстановительная наплавка внутренней поверхности металлоформ без предварительного подогрева с использованием сварочной проволоки марки Св-18ХМА и сварочной смеси в качестве защитного газа на отработанных режимах: $I_{св}$ = 290-310 *А, УД* = 30-34 *В, N = 2,4* об/мин, *S* = 7-8 мм/об, *H* =10-12 л/мин обеспечивает удовлетворительное формирование наплавленных слоев без пор и трещин. Сопоставимый уровень твердости и легирующих элементов наплавленного слоя и основного металла металлоформ позволит обеспечить необходимые износо- и термостойкость восстановленных металлоформ.

Библиографический список

1. Акулов А.И., Алехин В.П., Ермаков С.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. М.: Машиностроение. 2003. 560 с.

2. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение.1989. 336 с.

3. Подрезов Н.Н., Доронин Ю.В., Хегай Л.С. О свариваемости теплоустойчивых сталей разной выплавки, применяемых в атомной энергетике // Глобальная ядерная безопасность. 2014. N3(12). С. 49-53.

4. Малышевский В.А., Калинин Г.Ю., Харьков А.А. Создание высокопрочных корпусных сталей – от первых экспериментов до наших дней // Вопросы материаловедения. 2011. N1(65). С.17-27.

5. Лялякин В.П., СлинкоД.Б. Наплавка металлов. М.: Академия. 2016. 192 с.

6. Чавдаров А.В., Лялякин В.П., Скоропупов Д.И. Особенности комплектования автоматических сварочных комплексов // Сварочное производство. 2017. N2. С. 39-44.

7. Чавдаров А.В., Лялякин В.П. Автоматизация процессов сварки и наплавки при производстве сельскохозяйственной техники // Сварочное производство. 2018. N11. С. 40-43.

8. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехничекие материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45.

9. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

10. Дорохов А.С., Скороходов Д.М. Контроль геометрических и физико-механических параметров запасных частей сельскохозяйственной техники с использованием автоматизированной измерительной установки // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 59-62.

References

1. Akulov A.I., Alekhin V.P., Ermakov S.I. Tekhnologiya i oborudovaniye svarki plavleniyem i termicheskoy rezki [Technology and equipment of fusion welding and thermal cutting]. Moscow: Mashinostroyeniye. 2003. 560 (In Russian).

2. Livshits L.S., Khakimov A.N. Metallovedeniye svarki i termicheskaya obrabotka svarnykh soyedineniy [Metallology of welding and heat treatment of welded joints]. Moscow: Mashinostroyeniye.1989. 336 (In Russian).

3. Podrezov N.N., Doronin Yu.V., Khegay L.S. O svarivayemosti teploustoychivykh staley raznoy vyplavki, primenyayemykh v atomnoy energetike [Weldability of heat-resistant steels of different smelting used in nuclear power]. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2014. N3(12). 49-53 (In Russian).

4. Malyshevskiy V.A., Kalinin G.Yu., Khar'kov A.A. Sozdaniye vysokoprochnykh korpusnykh staley – ot pervykh eksperimentov do nashikh dney [Creation of high–strength hull steels from the first experiments to the present day]. Voprosy materialovedeniya. 2011. N1(65). 17-27 (In Russian).

5. Lyalyakin V.P., SlinkoD.B. Naplavka metallov [Surfacing of metals]. Moscow: Akademiya. 2016. 192 (In Russian).

6. Chavdarov A.V., Lyalyakin V.P., Skoropupov D.I. Osobennosti komplektovaniya avtomaticheskikh svarochnykh kompleksov [Features of completing automatic welding complexes]. Svarochnoye proizvodstvo. 2017. N2. 39-44 (In Russian).

7. Chavdarov A.V., Lyalyakin V.P. Avtomatizatsiya protsessov svarki i naplavki pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Automation of welding and surfacing processes in the production of agricultural machinery]. Svarochnoye proizvodstvo. 2018. N11. 40-43 (In Russian).

8. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnichekiye materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian).

9. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

10. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Kontrol'geometricheskikh i fiziko-mekhanicheskikh parametrov zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniyem avtomatizirovannoy izmeritel'noy ustanovki. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122. 59-62.

Заявленный вклад соавторов

Слинко Д.Б. – научное руководство, подготовка и доработка текста;
Чавдаров А.В. – подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Slinko D.B. – scientific guidance, preparation and revision of the manuscript;
Chavdarov A.V. – preparation and analysis of literary data, editing of the manuscript.

All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-131-137 УДК 621.9.048

Расчет и исследование процесса резания для повышения долговечности ножей измельчителя-разбрасывателя соломы комбайна

Юрий Николаевич Рожков, младший научный сотрудник;
Валентин Павлович Лялякин, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: valpal-1938@mail.ru;
Вячеслав Федорович Аулов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Для утилизации незерновой части вороха различных культур в современных комбайнах осуществляется их измельчение, как правило, специальным агрегатом – измельчителем-разбрасывателем соломы. При его работе раздробленная солома рассеивается по полю, при этом ширина рассеивания регулируется конструктивно и технологически в зависимости от ширины захвата жатки комбайна, скорости движения, оборотов ротора. Качество раздробления и рассеивания растительного материала зависит от состояния рабочих органов измельчителя-разбрасывателя соломы – его ножей, при износе и затуплении которых ухудшаются основные параметры агротехнологии, возрастают энергозатраты, увеличиваются потери. (Цель исследования) Рассчитать и теоретически исследовать процесс резания ножей, а также определить зависимость толщины лезвия ножа от высоты сжимаемого (разрезаемого) слоя. (Материалы и методы) Приняли в качестве разрезаемого материала солому яровой пшеницы. Взяли в качестве исследуемого агрегата измельчитель-разбрасыватель соломы зерноуборочного комбайна Acros-590 Plus, оборудованного оригинальными ножами фирмы MWS (Германия). Выполнили расчеты оптимальной толщины лезвия ножа измельчителя-разбрасывателя соломы от высоты поступающего в него слоя незерновой части вороха. (Результаты и обсуждение) Исследования показали, что при различной высоте исходного слоя его разрезание ножом с толщиной режущей кромки 100 микрометров происходит при достижении высоты сжатия в 1,4 миллиметров для слоя 2 миллиметра и 99,4 миллиметров для слоя 100 миллиметров. Величина сжатия исходного двухмиллиметрового слоя при его разрезании составила 30 процентов (кратность или коэффициент сжатия kсж примерно 1,3 раза), а для исходного стомиллиметрового слоя – 0,6 процентов (кратность сжатия примерно 0,03 раза). (Выводы) Из технологических соображений и существующей конструкции ножа ИРС комбайнов РСМ (Acros-590 Plus) целесообразно затачивать их лезвие на толщину 100 мкм и более.*

Ключевые слова: *нож, комбайн, измельчитель-разбрасыватель соломы, износостойкость, толщина лезвия, ресурс, упрочнение, процесс резания.*

Для цитирования: *Рожков Ю.Н., Лялякин В.П., Аулов В.Ф. Расчет и исследование процесса резания для повышения долговечности ножей измельчителя-разбрасывателя соломы комбайна // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 131-137. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-131-137. FBTSTQ.*

Calculation and investigation of the cutting process for improving the durability of knives of straw chopper-spreader

Yuriy N. Rozhkov, junior researcher;
Valentin P. Lyalyakin, Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher;
Vyacheslav F. Aulov, Ph.D.(Eng.), leading researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *For the disposal of the non–grain part of the heap of various crops in modern combines, they are crushed, as a rule, by a special unit – a shredder-a straw spreader. During its operation, the crushed straw is scattered across the field, while the scattering width is regulated structurally and technologically depending on the width of the harvester's reaper, the speed of movement, the rotor speed. The quality of fragmentation and dispersion of plant material depends on the condition of the working organs of the shredder-straw spreader – its knives, with wear and blunting of which the basic parameters of agricultural technology deteriorate, energy consumption increases, losses increase. (Research purpose) The research purpose is calculation and theoretical investigation of the cutting process of the shredder-straw spreader, as well as determining the dependence of the thickness of the knife blade on the height of the compressible (cut) layer. (Materials and methods) Adopted spring wheat straw as the cut material. We took the straw shredder-spreader of the Acros-590 Plus combine harvester equipped with original knives from MWS (Germany) as the unit under study. Calculations of the optimal thickness of the blade of the straw shredder-spreader knife from the height of the layer of the non-grain part of the pile entering it were performed. (Results and discussion) Studies have shown that at different heights of the initial layer, its cutting with a knife with a cutting edge thickness of 100 micrometers occurs when a compression height of 1.4 millimeters is reached for a layer of 2 millimeters and 99.4 millimeters for a layer of 100 millimeters. The compression value of the initial two–millimeter layer when it is cut will be 30 percent (the multiplicity or compression ratio of the CSF is about 1.3 times), and for the initial hundred-millimeter layer - 0.6 percent (the compression ratio is about 0.03 times). (Conclusions) It is advisable to sharpen the blade for technological reasons and the existing design of the knife IRS combines PCM (Acros-590 Plus) to a thickness of 100 µm or more.*

Keywords: *knife, harvester, straw chopper-spreader, wear resistance, blade thickness, resource, hardening, cutting process.*

For citation: *Rozhkov Yu.N., Lyalyakin V.P., Aulov V.F. Raschet i issledovaniye protsessa rezaniya dlya povysheniya dolgovechnosti nozhey izmel'chitelya-razbrasyvatelya solomy kombayna [Calculation and investigation of the cutting process for improving the durability of knives of straw chopper-spreader]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 131-137 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-131-137. FBTSTQ.*

Введение. Утилизация незерновой части вороха различных культур в современных комбайнах осуществляется их измельчением, как правило специальным агрегатом – измельчителем-разбрасывателем соломы (ИРС). При его работе раздробленная солома рассеивается по полю, при этом ширина рассеивания регулируется конструктивно и технологически в зависимости от ширины захвата жатки комбайна, скорости движения, оборотов ротора и т. д. [1].

Распределение измельченной соломы в почву – требование технологий для простейшей ее обработки. При этом выполняются следующие агротех-

нические приемы: мульчирование поверхности почвы, т. е. модификация температурного и водного режима верхних слоев почвы, а также снабжение почвенной микрофлоры органическим веществом с последующей ее гумификацией [2, 3]. Известно, что результативность сельскохозяйственной машины напрямую зависит от состояния ее рабочих органов, так как по признакам долговечности они ограничены. Взаимозаменяемость изношенных запчастей сопровождается большой трудоемкостью. Перечисленные факторы свидетельствуют о необходимости увеличения ресурса ножей ИРС с сохранением их оптимальной формы и толщины лезвия. Разумеется, что измельчение стебельной массы осуществляется резанием [4, 5].

По теории академика В.П. Горячкина, полная работа $A_{ПОЛН.}$, потраченная на резание, представляет собой сумму затрат энергии на сжатие продукта лезвием ножа $A_{СЖ}$ и на полезную работу $A_П$ – собственно резание [6, 7]:

$$A_{ПОЛН} = A_{СЖ} + A_П, \quad (1)$$

где $A_{СЖ}$ – энергия, затраченная на сжатие продукта лезвием ножа, Дж;

$A_П$ – энергия, затраченная на полезную работу, Дж.

Если посчитать лезвие ножа (заостренную его часть) прямоугольной формы, то элементы формулы (1) при резании слоя материала незерновой части вороха (соломы) можно представить следующим образом (*рис. 1*) .

Работу на сжатие определяем по формуле:

$$A_{СЖ} = l\delta\sigma h_{СЖ}, \quad (2)$$

где l – длина слоя материала вдоль лезвия ножа, м; δ – заданная толщина режущей кромки ножа, м; σ – допустимое напряжение на сжатие, Па; $h_{СЖ}$ – высота слоя сжатия, м.

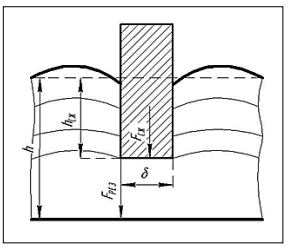


Рис. 1. Расчетная схема процесса резания: h – первоначальная высота слоя, м; $h_{СЖ}$ – высота слоя сжатия, м; δ – толщина лезвия ножа, м; l – длина слоя материала вдоль лезвия ножа, м; $F_{РЕЗ}$ – нормально направленная сила резания, Н

Полезную работу на резание определяем по формуле:

$$\tau A_П = l(h\text{-}h_{СЖ})\tau(h\text{-}h_{СЖ}), \quad (3)$$

где: τ – допустимое напряжение на срез, Па; h – первоначальная высота слоя, м.

Тогда с учетом уравнений (1)-(3) получаем:

$$A_{ПОЛН} = l\delta\sigma h_{СЖ} + (h\text{-}h_{СЖ})^2\tau. \quad (4)$$

Поэтому наиболее приемлемые условия резания возникают при тенденции к минимуму полной работы, затраченной на резание.

Зная, что издержки энергии при резании слоя реального (сжимаемого) материала зависят от степени сжатия материала, которая объясняется высотой сжимаемого слоя – $h_{СЖ}$, то теоретический минимум для $A_{ПОЛН}$ находится по производной этой величины $h_{сж}$, (5) при условии, что $h = const$, а особенность материала и параметры ножа при резании не учитываются.

Тогда, после простых преобразований получим:

$$\frac{\partial A_{полн.}}{\partial h_{сж}} = 0 \text{ ,} \tag{5}$$

$$l\delta\sigma - 2l(h - h_{сж})\tau = 0 \text{ .} \tag{6}$$

Преобразовывая далее выражение (6), получаем условие выбора оптимальной толщины лезвия ножа [7]:

$$\delta = 2(h - h_{СЖ})\frac{\tau}{\sigma}, \tag{7}$$

$$\delta = 2h\left(1 - \frac{h_{СЖ}}{h}\right)\frac{\tau}{\sigma} \text{ .} \tag{8}$$

С учетом полученной формулы (8), можно произвести численные расчеты воздействия толщины слоя сжатия на толщину режущей кромки ножа, если задать определенную величину h и известны свойства разрезаемого материала (τ, σ).

Материалы и методы. Приняли в качестве разрезаемого материала солому яровой пшеницы, ее свойства $\tau = 26$ МПа; $\sigma = 290$ МПа.

В качестве исследуемого агрегата взяли ИРС зерноуборочного комбайна *Acros-590 Plus*, оборудованного оригинальными ножами фирмы *MWS* (Германия).

Тогда, после подстановки в (7) и преобразований, получим:

$$\delta = \left(2h - \frac{2h \cdot h_{сж}}{h}\right)\frac{\tau}{\sigma}$$

$$\delta = \frac{2h\tau}{\sigma} - \frac{2\,h\tau h_{сж}}{\sigma h}; \tag{9}$$

$$\delta = -\frac{2\tau}{\sigma} + \frac{2h\tau}{\sigma};$$

$$\delta = -0{,}17\,h_{сж} + 0{,}17h \text{ ;}$$

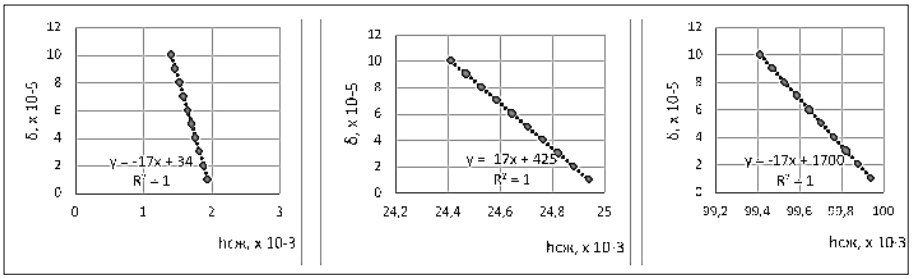
Данное выражение позволяет проанализировать зависимость остроты лезвия (радиуса его скругления) как от высоты слоя сжатия (при $h = const$), так и от высоты исходного слоя (при $h_{сж} = const$) или от обоих параметров высоты слоя сразу (при известной зависимости между ними).

Последнее же обстоятельство, как известно, больше зависит от конструктивных параметров измельчителя, а также частоты вращения его ножей (ротора) [8-10].

Результаты и обсуждение. Исходя из конструктивных особенностей ИРС комбайна, параметров ножа, а также размеров единичного элемента слоя незерновой части вороха (единичный стебель растения – соломинка), можно задать предельные обоснованные значения высоты исходного слоя: h = 2; 25; 100 мм.

Здесь значению h = 2 мм отвечает средний диаметр (толщина) единичного стебля растения (солома яровой пшеницы), значению h = 100 мм – максимальная высота слоя незерновой части вороха, поступающего с верхнего щитка ИРС (при его работе в режиме измельчения) без перегрузки ротора, а значение h = 25 мм условно принято нами для работы ИРС с четвертной загрузкой от максимального. Показатель расчетов толщины режущей кромки ножа от высоты сжимаемого слоя (солома пшеничная) и соответствующие количественные зависимости при значениях: τ = 26 МПа; σ = 290 МПа; h = 2; 25; 100 мм, полученные их аппроксимацией по МНК в прикладном ПО *Excel*, представили на *рисунке* 2.

Из технологических соображений и существующей унифицированной конструкции ножа ИРС комбайнов РСМ, в том числе и *Acros-590 Plus*, наиболее просто обеспечивать толщину их лезвия 100 мкм и более. Поэтому выполняя численный расчет по формуле (9), ограничимся указанной минимальной величиной толщины лезвия ножа.



а *б* *в*

Рис. 2. Качественная и количественная зависимость толщины лезвия ножа от высоты сжимаемого слоя для h:
а – 2 мм; б – 25 мм; в – 100 мм

Проведенные расчеты показывают, что при различной высоте исходного слоя, его разрезание ножом с толщиной режущей кромки 100 мкм происходит при достижении высоты сжатия в 1,4 мм для слоя 2 мм и 99,4 мм для слоя 100 мм. То есть величина сжатия исходного 2 мм слоя при его разрезании составит 30% (кратность или коэффициент сжатия kсж ~ 1,3 раза), а для исходного 100 мм слоя – 0,6% (кратность сжатия ~ 0,03 раза).

Таким образом, использование формулы (9), полученной исходя из закона сохранения энергии и при условии минимальной работы, затрачиваемой на разрезание слоя, дает адекватные результаты только для тонких слоев материала (2 мм и меньше), которые в реальных ИРС не реализуются.

Очевидно это связано со сложным строением реального слоя незерновой части вороха, поступающего на измельчение, единичный разрезаемый объем которого одновременно состоит из множества единичных стеблей с различной пространственной ориентацией, сложным характером их упаковки и различной формой пустот, заполненных воздухом.

Выводы. Из технологических соображений и существующей конструкции ножа ИРС комбайнов РСМ (*Acros-590 Plus*) целесообразно затачивать их лезвие на толщину 100 мкм и более. При различной высоте исходного слоя незерновой части вороха, его разрезание ножом с толщиной режущей кромки 100 мкм происходит при достижении высоты сжатия в 1,4 мм для слоя 2 мм и 99,4 мм для слоя 100 мм. То есть величина сжатия исходного двухмиллиметрового слоя при его разрезании составит 30% (кратность или коэффициент сжатия $k_{сж}$ ~ 1,3 раза), а для исходного стомиллиметрового слоя – 0,6% (кратность сжатия ~ 0,03 раза). Использование формулы (9), полученной исходя из закона сохранения энергии и при условии минимальной работы, затрачиваемой на разрезание слоя, дает адекватные результаты только для тонких слоев материала (2 мм и меньше), которые в реальных ИРС не реализуются.

Библиографический список

1. Обзор российского рынка сельхозтехники: зерноуборочные комбайны [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://agro2b.ru/ru/news/18589-obzor-rossijskogo-rynka-selhoztehniki-zernouborocnye-kombajny.html

2. Макаров В.Н. Влияние основной обработки почвы с внесением соломы на урожай зерна сои и пшеницы // Научно-технический бюллетень ВНИИ сои. 1977. Вып. 5, 6. С. 41-49.

3. Ягельский М.Ю., Родимцев М.Ю. Оценка качества работы соломоизмельчителя зерноуборочного комбайна // Тракторы и сельхозмашины. 2013. N6. С. 47-49.

4. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А., Корчагина Е.Е. Теоретическое обо-

снование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. N1(13). С. 23-33.

5. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Исследование измельчающих аппаратов незерновой части урожая зерновых культур с шарнирной подвеской ножей на барабане // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. N3(7). С. 9-16.

6. Вендин С.В., Саенко Ю.В. К расчету конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. N1(17). С. 16-31.

7. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение. 1975. 311 с.

8. Вендин С.В., Булавин С.А., Саенко Ю.В. Обоснование частоты вращения ножей дробилки пророщенного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. N4. С. 9-12.

9. Дорохов А.С., Скороходов Д.М. Контроль геометрических и физико-механических параметров запасных частей сельскохозяйственной техники с использованием автоматизированной измерительной установки // Трудов ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 59-62.

10. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехничекие материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45.

References

1. Obzor rossiyskogo rynka sel'khoztekhniki: zernouborochnyye kombayny [Overview of the Russian agricultural machinery market: combine harvesters] [Electronic Resource]. URL: http://agro2b.ru/ru/news/18589-obzor-rossijskogo-rynka-selhoztehniki-zernouborocnye-kombajny.html (In Russian).

2. Makarov V.N. Vliyaniye osnovnoy obrabotki pochvy s vneseniyem solomy na urozhay zerna soi i pshenitsy [The effect of basic tillage with the introduction of straw on the yield of soybeans and wheat]. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' VNII soi. 1977. Iss. 5, 6. 41-49 (In Russian).

3. Yagel'skiy M.Yu., Rodimtsev M.Yu. Otsenka kachestva raboty solomoizmel'chitelya zernouborochnogo kombayna [Evaluation of the quality of the work of the straw grinder of the combine harvester]. Traktory i sel'khozmashiny. 2013. N6. 47-49 (In Russian).

4. Vol'vak S.F., Bakharev D.N., Vertiy A.A., Korchagina E.E. Teoreticheskoye obosnovaniye zatrat moshchnosti na izmel'cheniye stebel'chatykh kormov izmel'chitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami [Theoretical justification of the power costs for chopping stalked feeds with a chopper with pivotally suspended combined knives]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2017. N1(13). 23-33 (In Russian).

5. Vol'vak S.F., Shapovalov V.I. Issledovaniye izmel'chayushchikh apparatov nezernovoy chasti urozhaya zernovykh kul'tur s sharnirnoy podveskoy nozhey na barabane [Study of grinding machines of the non-grain part of the crop with a hinged suspension of knives on the drum]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2015. N3(7). 9-16 (In Russian).

6. Vendin S.V., Sayenko Yu.V. K raschetu konstruktivnykh parametrov nozhey dlya izmel'cheniya proroshchennogo zerna [Calculation of design parameters of knives for grinding sprouted grain]. Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2018. N1(17). 16-31 (In Russian).

7. Reznik N.E. Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov [The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1975. 311 (In Russian).

8. Vendin S.V., Bulavin S.A., Sayenko Yu.V. Obosnovaniye chastoty vrashcheniya nozhey drobilki proroshchennogo zerna [Justification of the rotation frequency of the blades of

the sprouted grain crusher]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2015. N4. 9-12 (In Russian).

9. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Kontrol' geometricheskikh i fiziko-mekhanicheskikh parametrov zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniyem avtomatizirovannoy izmeritel'noy ustanovki [Control of geometric, physical and mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery using an automated measuring system]. Trudov GOSNITI. 2016. Vol. 122. 59-62 (In Russian).

10. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnichekiye materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Рожков Ю.Н. – анализ литературных данных, произведение расчетов и построение графиков;
Лялякин В.П. – научное руководство, анализ и доработка текста;
Аулов В.Ф. – редактирование текста, анализ литературных данных.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

Contributions of the coauthors

Rozhkov Yu.N. – analysis of literature data, calculation and plotting;
Lyalyakin V.P. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript;
Aulov V.F. – editing the manuscript, analysis of literary data.
All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-138-146 УДК:621.9.048.4

Устранение трещин в металлических деталях

Александр Юрьевич Костюков, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: 11-lab@mail.ru;
Вячеслав Федорович Аулов, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Алексей Алексеевич Евсюков, инженер
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Один из наиболее универсальных и эффективных методов восстановления деталей – способ электроискровой обработки. На базе данного метода был разработан технологический процесс, позволяющий получить толстослойное покрытие повышенной сплошности. Использование электроискровой обработки при восстановлении деталей представляет собой актуальную задачу устранения трещин в металлических деталях машин. (Цель исследования) Провести экспериментальные работы по устранению трещин в металлических деталях машин способом электроискровой обработки, в том числе в целях получения герметичных покрытий. (Материалы и методы) Выбрали в качестве основных электродов бронзу БрКМц3-1, для электрода оплавления – медь М1 для экспериментальных работ по устранению трещин способом электроискровой обработки. Определили, что процесс устранения трещин проходил за несколько циклов. (Результаты и обсуждение) Эксперименты показали, что, используя только прием толстослойного электроискрового покрытия, возможно, закрыть трещину шириной до 1,5 миллиметров включительно, но практически невозможно получить герметичное покрытие. Установили в результате исследований влияния поверхностной пластической обработки, что средняя микротвердость покрытия, не обработанного способом поверхностно-пластической деформации, составила 250 по Виккерсу. Максимальная микротвердость образца, обработанного способом поверхностно-пластической деформации на глубине 0,05 миллиметров, составила более 500 по Виккерсу. (Выводы) Проведенные эксперименты по устранению трещин показали, что, используя только прием толстостенного электроискрового покрытия, несложно закрыть трещину шириной до 1,5 миллиметров включительно, но практически невозможно получить герметичное покрытие, так как оно имеет значительную пористость. Для тех случаев, где герметичность шва обязательна, необходима дополнительная обработка способом поверхностно-пластической деформации.*

Ключевые слова: *электроискровая обработка, электрод, восстановление деталей, трещина, поверхностно-пластическая деформация, пористость, герметизация.*

Для цитирования: *Костюков А.Ю., Аулов В.Ф, Евсюков А.А. Устранение трещин в металлических деталях // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 138-146. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-138-146. MVPOGT.*

Elimination of cracks in metal parts

Aleksandr Yu. Kostyukov, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Vyacheslav F. Aulov, Ph.D.(Eng.), leading researcher;

Aleksey A. Evsyukov, engineer
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *One of the most versatile and effective methods of restoring parts is the method of electric spark processing. On the basis of this method, a technological process was developed that allows to obtain a thick-layer coating of increased continuity. The use of electric spark processing in the restoration of parts is an urgent task of eliminating cracks in metal parts of machines. (Research purpose) The research purpose is eliminating cracks in metal parts of machines by the electric spark processing to obtain sealed coatings. (Materials and methods) BRKMTS3-1 bronze was chosen as the main electrodes, M1 copper was chosen for the reflow electrode for experimental work to eliminate cracks by electric spark treatment. It was determined that the process of eliminating cracks took place in several cycles. (Results and discussion) Experiments have shown that, using only the reception of a thick-layer electric spark coating, it is possible to close a crack up to 1.5 millimeters wide inclusive, but it is practically impossible to obtain a sealed coating. It was established as a result of studies of the effect of surface plastic treatment that the average microhardness of the coating, untreated by the method of surface plastic deformation, was 250 according to Vickers. The maximum microhardness of the sample treated by the method of surface plastic deformation at a depth of 0.05 millimeters was more than 500 Vickers. (Conclusions) The experiments carried out to eliminate cracks have shown that using only the reception of a thick-walled electric spark coating, it is easy to close a crack up to 1.5 millimeters wide inclusive, but it is almost impossible to obtain a sealed coating, since it has significant porosity. For those cases where the tightness of the seam is mandatory, additional processing by the method of surface plastic deformation is necessary.*

Keywords: *electrospark machining, electrode, restoration of parts, crack, surface plastic deformation, porosity, sealing.*

For citation: *Kostyukov A.Yu., Aulov V.F, Evsyukov A.A. Ustraneniye treshchin v metallicheskikh detalyakh [Elimination of cracks in metal parts]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 138-146 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-138-146. MVPOGT.*

Введение. Одним из наиболее универсальных и эффективных методов восстановления деталей служит способ электроискровой обработки (ЭИО). Достоинства метода – отсутствие перегрева и деформации детали при обработке; высокая адгезия нанесенного слоя покрытия с основным материалом; возможность восстановления детали в размер без механической обработки; возможность локального нанесения покрытий; возможность использования любого токопроводящего материала в качестве электрода; высокий коэффициент переноса материала электрода – до 80%; низкая энергоемкость процесса (0,5-1,0 кВт); экологичность процесса и другие представляют собой основу успешного использования его для ремонтных целей [1].

Для расширения возможностей этого способа и на основании проведенных ранее исследований по увеличению толщины покрытия был разработан технологический прием, позволяющий получить толстослойное покрытие повышенной сплошности. Данный эффект возможен за счет «растекания» вершин неровностей ранее нанесенного ЭИ покрытия под воздействием импульсов концентрированной энергии. Для нанесения такого покрытия обработка ведется циклами «нанесение–оплавление». Получение требуемой

толщины покрытия (нанесенного слоя) достигается соответствующим количеством циклов, практически удается получить ЭИ покрытие толщиной 1-3 мм и более, что решает задачу восстановления деталей с соответствующими износами или имеющих локальные дефекты значительной глубины [2]. В лаборатории ФНАЦ ВИМ успешно восстановлено значительное количество блоков и гильз цилиндров ДВС, штоков гидроцилиндров, турбокомпрессоров и других деталей, у которых в процессе работы возникает естественный износ или аварийный дефект, в том числе и локальный [3-6]. Положительный опыт восстановления этих деталей, а также изучение технических характеристик покрытий, полученных ЭИО (адгезия, плотность и толщина покрытия) позволяют рекомендовать данный метод к внедрению в производство. Однако имеются детали с наличием трещин, не приводящих к разрушению и не имеющих критического значения для их прочности, процессы восстановления таких деталей недостаточно проработаны.

Цель исследования – провести экспериментальные работы по устранению трещин в металлических деталях машин способом ЭИО, в том числе в целях получения герметичных покрытий.

Материалы и методы. Проблема устранения трещин в металлических деталях решается многими способами: фигурные вставки, наплавка, накладки, полимерные материалы и т. д. До появления технологии получения толстослойного покрытия, работы по устранению трещин способом ЭИО не проводились ввиду того, что наплавленный слой ЭИО был недостаточен для такого вида работ. Использовали ранее накопленный опыт восстановления деталей с глубокими задирами и, в частности, при восстановлении гильз цилиндров, имеющих задиры вследствие поломки поршневого кольца [7].

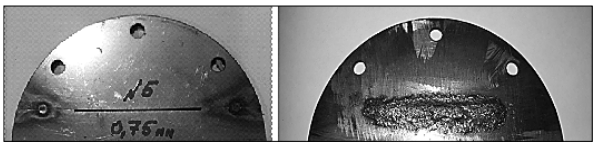
При выборе материалов и режимов ЭИО при устранении трещин в деталях машин учитывали следующее: покрытие должно иметь достаточную прочность сцепления с поверхностью детали в условиях механических тепловых нагрузок и долговременной эксплуатации.

Основные требования к материалу электрода для выполнения операции оплавления, обеспечивающие эффективность обработки и минимальное влияние на химический состав формируемого покрытия, – это высокая теплопроводность и электроэрозионная стойкость. Последняя зависит от теплофизических свойств металла. Исходя из указанного, наиболее целесообразны в общем случае для выполнения функции оплавления следующие материалы электродов: вольфрам, медь, графит. Для экспериментальных работ по устранению трещин были выбраны в качестве основного электрода бронза БрКМц3-1, а электрод для оплавления – медь М1 (вспомогательный электрод). Для отработки технологии устранения трещин методом ЭИО с использованием установки «БИГ-5» подготовили образцы, которые представляют собой пластины из различных материалов (стали 08Х18Н10Т, Ст3, Ст45) толщиной 3 мм с выполненными в них имитаторами сквозных трещин шириной 0,3-1,5 мм (*рис. 1, а*).

Процесс устранения трещин проходил за несколько циклов. Образцы с трещиной до 1 мм удавалось закрыть за 3-4 цикла, с трещиной более 1 мм – за 5-7 циклов. Имитатор трещины шириной 0,75 мм устранен электродами БрКМц3-1 и М1 за 4 цикла обработки (*рис. 1, б*).

Первым проходом ЭИО, используя медный электрод, разрушаем кромки трещин, т. е. осуществляем разделку дефекта, используя максимальный энергетический режим установки БИГ-5. В процессе разделки дефекта с его поверхности высокой температурой (до 10-15 тыс. град.) удаляются все загрязнения и, кроме того, дефект покрывается медной пленкой, которая в

дальнейшем служит подложкой для более качественного нанесения последующего слоя.



а *в*

Рис.1. Образец с имитацией трещины шириной 0,75 мм до и после ЭИО: а – образец с имитатором трещины; б – образец после 4-х циклов ЭИО

Медный электрод М1 диаметром 6 мм и длиной 50-100 мм должен иметь заточку с острым углом 25-35° для возможности его введения на максимальную глубину в трещину. Обработка происходит на следующих режимах: частота импульсов 200-250 Гц, сила тока 15-20 А и амплитуда 1-100 мкм. Электрод-инструмент перемещают по дефектной поверхности образца, совершая колебательные движения, выходящие за границы дефекта на 3-4 мм.

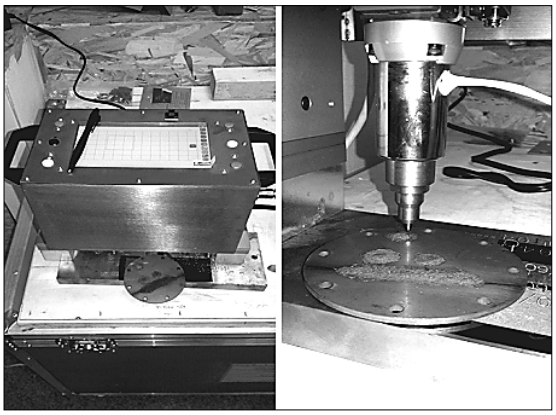
После разделки дефекта и получения медного подслоя электроискровой наплавкой наносят покрытия электродом БрКМц 3-1 на более низких энергетических режимах с удельным временем наплавки не более 2,0-3,0 мин/ см^2. Далее процесс повторяется до полного заполнения трещины и образования небольшого валика, высотой около 1 мм и шириной 6-8 мм. Последний слой также наносят медным электродом, для получения более качественной поверхности покрытия.

Лабораторные исследования прочности сцепления электроискровых покрытий, полученных электродом БрМКц3-1, показали, что их прочность на отрыв (адгезионная) составила 20-40 МПа, а прочность на срез (когезионная) – 50-80 МПа. При этом максимальные прочностные характеристики для покрытий ЭИО соответствуют толщинам 0,1-0,3 мм. Прочность сцепления с основой в данном случае определяется высокой гетерогенностью структуры покрытия, значительной несплошностью и наличием в нем больших остаточных напряжений. Относительно низкие значения прочности материала покрытия на срез становятся причиной того, что при оценке прочности сцепления покрытия происходит адгезионно-когезионный отрыв [8-10].

Результаты и обсуждение. Образцы при визуальном осмотре с применением лупы 5-ти кратного увеличения показали отсутствие сквозных видимых дефектов покрытия. При контроле полученных швов сжатым воздухом от компрессора обнаружилось отсутствие герметизации практически во всех образцах. Электроискровое покрытие, имея значительную пористость не обеспечивает герметичность при заделке сквозных трещин. Задачу по уменьшению пористости ЭИ покрытия и получения герметичного шва возможно решить несколькими способами: поверхностно-пластической деформацией (ППД), холодной газодинамикой (ХГДН), полимерными покрытиями и др.

Для усовершенствования покрытия, полученного ЭИО, применяют следующие способы обработки ППД: дробеструйная, раскатывание шариками или роликами, дорнование, ротационная, чеканка, и др. Так как в качестве электродов выбрана бронза и медь, это относительно мягкое покрытие, которое обладает достаточным запасом пластичности. Для улучшения такого покрытия рекомендуется дробеструйная обработка. Суть метода заключается в соударении рабочих тел, обладающих высокой скоростью, с обрабатываемой поверхностью. После дробеструйной обработки происходит значительное упрочнение поверхности, уменьшение пористости и шероховатости.

Первоначально эксперимент по герметизации покрытия проводили с использованием ручного ударно-точечного маркиратора *ES-800*. Это приспособление имеет достаточно простой принцип работы. Электромагнитная катушка перемещается по направляющим в зоне обработки в том месте, где необходимо произвести ППД, срабатывает сигнал, и индентор с определенным заданным усилием ударяет по металлу. Диаметр отпечатка при ударе колеблется от 0,2 до 1 мм, а площадь обработанной поверхности, которую можно получить при соединении данных точек, ограничена только рабочей зоной маркиратора. Расстояние между ударами регулируется и минимальный шаг составляет 0,1 мм. Приспособление удобно для проведения экспериментальных работ по ППД на образцах, которые устанавливаются на стол маркиратора (*рис. 2*). При контроле швов, прошедших обработку на *ES-800* сжатым воздухом выявлено значительное снижение пористости.



а *б*

Рис. 2. Маркиратор ES-800:
а – общий вид; б – процесс обработки образца на маркираторе

Параллельно с проведением предварительных экспериментов на ES-800 разрабатывали собственную более простую и универсальную конструкцию устройства для ППД обработки (Устройство для упрочняющей обработки деталей пластической деформацией потоком рабочих тел: пат. 2755497 C1 Рос. Федерация / Аулов В.Ф., Иванов В.И., Евсюков А.А.; 2021). Схема данной обработки показана на *рисунке.* 3. Из входного сопла 1 поступает воздух из компрессора, который разгоняет рабочие тела 2. Рабочие тела с определенной скоростью сталкиваются с обрабатываемым образцом 3, расположенным в специальной вставке 4. При этом за счет энергии удара происходит упрочнение покрытия и снижение его пористости.

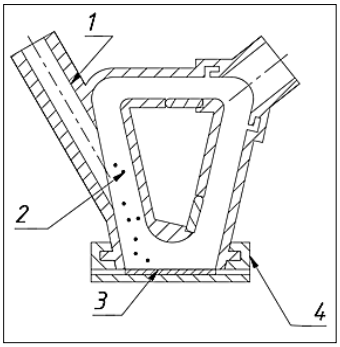
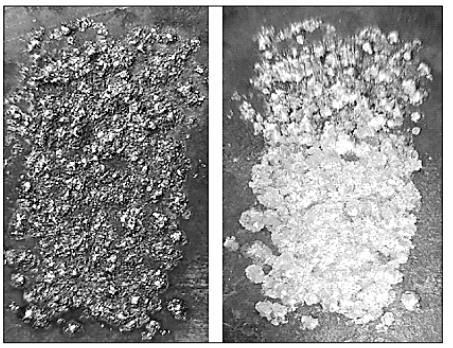


Рис. 3. Схема устройства для дробеструйной обработки

Испытания устройства проводили на образце после ЭИО бронзой БрКМц 3-1. Образец представили на *рисунке* 4.



а *б*

Рис.4. Образец с покрытием ЭИО и после ППД:
а – образец после ЭИО; б – образец после ППД

После нанесения электроискрового покрытия электродом БрКМц 3-1 образец был обработан на установке для ППД методом дробеструйной обработки при параметрах, указанных в *таблице.*

Таблица

Параметры обработки ППД

Показатели	Единица измерения	Значения
Количество шариков	шт	200
Масса шарика	кг	6,42*10-5
Диаметр шарика	мм	1,6
Давление	МПа	0,6
Время обработки	с	30
Скорость шарика	м/с	40
Кинетическая энергия шарика	Дж	0,05

В результате исследований влияния поверхностной пластической обработки средняя микротвердость необработанного ППД покрытия составила 250 *HV.* Максимальная микротвердость образца, обработанного ППД на глубине 0,05 мм составила более 500 *HV*, что свидетельствует о значительном уплотнении материала покрытия за счет наклепа, которое в свою очередь приводит к ликвидации пористости покрытия [11-16].

Выводы. Проведенные эксперименты по устранению трещин показали, что, используя только прием толстослойного электроискрового покрытия, возможно закрыть трещину шириной до 1,5 мм включительно, но практически невозможно получить герметичное покрытие из-за значительной пористости. Для тех случаев, где герметичность шва обязательна, необходимо дополнительно ввести операцию ППД.

Библиографический список

1. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И., Величко С.А., Ионов П.А. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов. Саранск: Красный октябрь. 2003. 504 с.

2. Применение метода нанесения электроискровых толстослойных покрытий

повышенной сплошности: сборник трудов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии реновации в машиностроении». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2019. С. 25-32.

3. Иванов В.И., Костюков А.Ю., Денисов В.А., Задорожний Р.Н., Донской Д.В., Назаров А.А. Восстановление деталей импортных двигателей во втором автобусном парке Москвы // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. N5. С. 3-10.

4. Гвоздев А.А., Иванов В.И., Костюков А.Ю. О развитии опыта восстановления неподвижных соединений нанесением электроискровых покрытий // Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. N12. С. 9-12.

5. Иванов В.И., Костюков А.Ю. Практика применения электроискровых покрытий при восстановлении деталей машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. N6. С. 10-17.

6. Иванов В.И., Костюков А.Ю. Устранение типовых дефектов деталей машин методом электроискрового нанесения покрытий // РИТМ машиностроения. 2019. N7. С. 10-17.

7. Денисов В.А., Костюков А.Ю., Задорожний Р.Н. Восстановление гильз цилиндров автотракторных двигателей в современных условиях // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. N2(139). С. 122-133.

8. Денисов В.А., Костюков А.Ю., Иванов В.И., Задорожный Р.Н., Потапов А.В. Исследование прочности сцепления электроискровых и газодинамических покрытий // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. N7. С. 14-17.

9. Денисов В.А., Иванов В.И., Задорожний Р.Н. Металлографические исследования электроискровых и газодинамических покрытий // Технология металлов. 2013. N12. С. 31-38.

10. Бурумкулов Ф.Х., Денисов В.А., Костюков А.Ю., Иванов В.И., Задорожний Р.Н., Потапов А.В. Исследование прочности сцепления электроискровых и газодинамических покрытий // Электронная обработка материалов. 2011. N2. С. 24-29.

11. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехничекие материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45.

12. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The Tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

13. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С., Коневцов Л.А, Величко С.А. Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

14. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

15. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N6. С. 27-31.

16. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

References

1. Burumkulov F.Kh., Lezin P.P., Senin P.V., Ivanov V.I., Velichko S.A., Ionov P.A. Elektroiskrovyye tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin i instrumentov [Electric spark recovery and hardening technologies for machine parts and

tools]. Saransk: Krasnyy oktyabr'. 2003. 504 (In Russian).

2. Primeneniye metoda naneseniya elektroiskrovykh tolstosloynykh pokrytiy povyshennoy sploshnosti: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Innovatsionnyye tekhnologii renovatsii v mashinostroyenii» [Application of the electric spark thick-layer coatings of increased continuity: proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Innovative renovation technologies in mechanical Engineering"]. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana. 2019. 25-32 (In Russian).

3. Ivanov V.I., Kostyukov A.Yu., Denisov V.A., Zadorozhniy R.N., Donskoy D.V., Nazarov A.A. Vosstanovleniye detaley importnykh dvigateley vo vtorom avtobusnom parke Moskvy [Restoration of imported engine parts in Moscow's second bus fleet]. Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya. 2013. N5. 3-10 (In Russian).

4. Gvozdev A.A., Ivanov V.I., Kostyukov A.Yu. O razvitii opyta vosstanovleniya nepodvizhnykh soyedineniy naneseniyem elektroiskrovykh pokrytiy [Development of experience in restoring fixed joints by applying electric spark coatings]. Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya. 2017. N12. 9-12 (In Russian).

5. Ivanov V.I., Kostyukov A.Yu. Praktika primeneniya elektroiskrovykh pokrytiy pri vosstanovlenii detaley mashin [The practice of using electric spark coatings in the restoration of machine parts]. Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2017. N6. 10-17 (In Russian).

6. Ivanov V.I., Kostyukov A.Yu. Ustraneniye tipovykh defektov detaley mashin metodom elektroiskrovogo naneseniya pokrytiy [Elimination of typical defects of machine parts by the method of electric spark coating]. RITM mashinostroyeniya. 2019. N7. 10-17 (In Russian).

7. Denisov V.A., Kostyukov A.Yu., Zadorozhniy R.N. Vosstanovleniye gil'z tsilindrov avtotraktornykh dvigateley v sovremennykh usloviyakh [Restoration of cylinder liners of automotive engines in modern conditions]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2020. Vol. 58. N2(139). 122-133 (In Russian).

8. Denisov V.A., Kostyukov A.Yu., Ivanov V.I., Zadorozhnyy R.N., Potapov A.V. Issledovaniye prochnosti stsepleniya elektroiskrovykh i gazodinamicheskikh pokrytiy [Adhesion strength of electric spark and gas dynamic coatings]. Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2011. N7. 14-17 (In Russian).

9. Denisov V.A., Ivanov V.I., Zadorozhniy R.N. Metallograficheskiye issledovaniya elektroiskrovykh i gazodinamicheskikh pokrytiy [Metallographic studies of electric spark and gas dynamic coatings]. Tekhnologiya metallov. 2013. N12. 31-38 (In Russian).

10. Burumkulov F.Kh., Denisov V.A., Kostyukov A.Yu., Ivanov V.I., Zadorozhniy R.N., Potapov A.V. Issledovaniye prochnosti stsepleniya elektroiskrovykh i gazodinamicheskikh pokrytiy [Adhesion strength of electric spark and gas dynamic coatings]. Elektronnaya obrabotka materialov. 2011. N2. 24-29 (In Russian).

11. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnichekie materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian).

12. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The Tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

13. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., Konevtsov L.A., Velichko S.A. Vliyanie prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the nature of electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

14. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev

D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

15. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Vaynerman A.E., Pichuzhkin S.A., Golosienko S.A., Chernobaev S.P., Yurkov M.A. Novye iznosostoykie naplavochnye materialy v sel'skokhozyaystvennom mashinostroenii [New wear-resistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N6. 27-31 (In Russian).

16. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

Заявленный вклад соавторов

Костюков А.Ю. – планирование и проведение экспериментальных работ, подготовка статьи;
Аулов В.Ф – разработка опытной конструкции, корректировка статьи;
Евсюков А.А. – участие в экспериментальных работах, подготовка материалов
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kostyukov A.Yu. – planning and conducting experimental work, preparation of the manuscript;
Aulov V.F. – development of experimental design, correction of the manuscript;
Evsyukov A.A. – participation in experimental work, preparation of materials.
All the authors have read and approved the final manuscript

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-147-156 УДК 621.762.227

Износостойкие порошковые материалы для плазменно-порошковой наплавки

[1]Екатерина Владимировна Агеева, доктор технических наук, профессор, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru;
[2]Владимир Исаевич Серебровский, доктор технических наук, профессор;
[1]Евгений Викторович Агеев, доктор технических наук, профессор
[2]Владимир Алексеевич Кончин, аспирант
[1]Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация
[2]Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация

Реферат. *Среди порошковых наплавочных материалов, обладающих высокой твердостью и стойкостью к абразивному износу, одни из наиболее перспективных – порошки на основе систем WC-TiC-Co, представляющие собой основу твердых сплавов. (Цель исследования) Получить и исследовать износостойкие порошковые материалы для плазменно-порошковой наплавки электродиспергированием отходов твердого сплава марки Т30К4 в керосине. (Материалы и методы) Выбрали в качестве исходного материала некондиционные твердосплавные пластины марки Т30К4; в качестве рабочей жидкости – осветительный керосин. Решали поставленные в работе задачи по исследованию состава, структуры и свойств полученных твердосплавных порошков с использованием современного оборудования и взаимодополняющих методов физического материаловедения. Осуществляли электродиспергирование отходов твердого сплава на оригинальной установке; исследовали форму и морфологию поверхности частиц на электронно-ионном сканирующем микроскопе с полевой эмиссией электронов QUANTA 600 FEG; гранулометрический состав частиц – на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 NanoTec; рентгеноспектральный микроанализ частиц проводили на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D; фазовый анализ частиц выполняли на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV. (Результаты и обсуждение) Разработали и исследовали новую технологию получения твердосплавного электроэрозионного порошка, пригодного для плазменно-порошковой наплавки, эффективность которой подтверждается свойствами предложенного порошкового материала: сферическая форма частиц порошка; средний размер частиц порошка составляет 58,4 микрометров; частицы порошка с равномерным распределением легирующих элементов: C, Co, Ti и W; частицы порошка включают в себя фазы карбидов WC и TiC. (Выводы) Проведенные исследования показали, что способом электроэрозионного диспергирования отходов твердого сплава марки Т30К4 возможно получить износостойкий порошок-сплав с равномерным распределением легирующих элементов.*

Ключевые слова: *плазменно-порошковая наплавка, износостойкие порошки, электродиспергирование, отходы твердого сплава, гранулометрический состав, сферическая форма.*

Для цитирования: *Агеева Е.В., Серебровский В.И., Агеев Е.В., Кончин В.А. Износостойкие порошковые материалы для плазменно-порошковой наплавки // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 147-156. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-147-156. MFSZJW.*

WEAR-RESISTANT POWDER MATERIALS FOR PLASMA-POWDER SURFACING

[1]Ekaterina V. Ageeva, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[2]Vladimir I. Serebrovskiy, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[1]Evgeniy V. Ageev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
[2]Vladimir A. Konchin, postgraduate
[1]Southwest State University, Kursk, Russian Federation
[2]Kursk State Agricultural Academy
named after I.I. Ivanov, Kursk, Russian Federation

Abstract. *Among powder surfacing materials with high hardness and resistance to abrasive wear, powders based on WC-TiC-Co systems, which are the basis of hard alloys, are among the most promising. (Research purpose) The research purpose is investigating wear-resistant powder materials for plasma-powder surfacing by electrodispersing solid alloy waste of the T30K4 brand in kerosene. (Materials and methods) We chose substandard carbide plates of the T30K4 brand as the starting material; lighting kerosene as the working fluid. We solved the tasks set in the work on the study of the composition, structure and properties of the obtained carbide powders using modern equipment and complementary methods of physical materials science. Electrodispersion of solid alloy waste was carried out on the original installation; the shape and morphology of the particle surface were studied on an electron-ion scanning microscope with field emission of electrons QUANTA 600 FEG; particle size composition – on a laser particle size analyzer Analysette 22 NanoTec; X-ray spectral microanalysis of particles was carried out on an energy dispersive X-ray analyzer of EDAX company, integrated into a scanning electron microscope QUANTA 200 3D; phase analysis of particles was performed on an X-ray diffractometer Rigaku Ultima IV. (Results and discussion) A new technology for producing a carbide electroerosive powder suitable for plasma-powder surfacing has been developed and investigated, the effectiveness of which is confirmed by the properties of the proposed powder material: the spherical shape of powder particles; the average size of powder particles is 58.4 micrometers; powder particles with a uniform distribution of alloying elements: C, Co, Ti and W; powder particles include phases of carbides WC and TiC. (Conclusions) The conducted studies have shown that it is possible to obtain a wear-resistant powder alloy with a uniform distribution of alloying elements by the method of electroerosive dispersion of solid alloy waste of the T30K4 brand.*

Keywords: *plasma-powder surfacing, wear-resistant powders, electrodispersion, hard alloy waste, particle size distribution, spherical shape.*

For citation: *Ageyeva E.V., Serebrovskiy V.I., Ageyev E.V., Konchin V.A. Iznosostoykiye poroshkovyye materialy dlya plazmenno-poroshkovoy naplavki [Wear-resistant powder materials for plasma-powder surfacing]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 147-156 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-147-156 MFSZJW.*

Введение. Одним из универсальных, гибких и перспективных способов технологического воздействия на свойства материла служит плазменно-порошковая наплавка (ППН). Для восстановления и упрочнения изношенных деталей сельхозтехники ППН требуется применение износостойких порошковых материалов на основе карбидов вольфрама, титана и др. [1-3]. Данные карбиды служат основой современных твердых сплавов, переработка которых и дальнейшее использование представляет собой на сегодняшнее время сложную и актуальную задачу.

Один из перспективных способов переработки любого токопроводящего материала в порошки – электродиспергирование [4-9]. Промышленному применению данного способа препятствует отсутствие полноценной информации о свойствах данных материалов.

Цель исследования – получить и исследовать износостойкие порошковые материалы для плазменно-порошковой наплавки электродиспергированием отходов твердого сплава марки Т30К4 в керосине.

Материалы и методы. Для выполнения намеченных исследований в качестве исходного материала были выбраны некондиционные твердосплавные пластины марки Т30К4. В качестве рабочей жидкости − углеродсодержащая жидкость осветительный керосин (ТУ 38.401-58-10-01).

Технология получения порошков электродиспергированием отходов сплава Т30К4 в осветительном керосине следующая [10-15] (*рис. 1*).

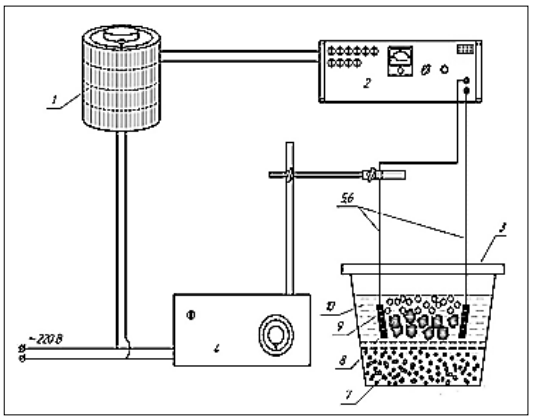


Рис. 1. Принципиальная схема работы установки электродиспергирования металлоотходов: 1 – регулятор напряжения; 2 – генератор импульсов; 3 – реактор; 4 – встряхиватель; 5, 6 – электроды; 7 – электроэрозионные частицы; 8 – металлоотходы; 9 – газовый пузырь; 10 – рабочая жидкость

В начале осуществляется сборка электродов 5 и 6 из диспергируемых металлоотходов 8. Далее в реактор 3 загружаются гранулы диспергируемого металлоотхода 8 и заливается рабочая жидкость 10. На пульте управления генератора импульсов 2 устанавливаются требуемые для электродиспергирования металлоотходов параметры: емкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов. Затем при помощи регулятора напряжения 1 устанавливается такое напряжение, при котором происходит электрический пробой рабочей жидкости 10, находящийся в межэлектродном пространстве. При образовании канала разряда куски металлоотхода в точке разряда плавятся и испаряются. Рабочая жидкость 10 в канале электрического разряда также кипит и испаряется, образуя газовый пузырь 9. Капли расплавленного и испаряющегося металлоотхода попадают в жидкую рабочую среду образуют сферические и эллиптические частицы 7, а также агломераты.

Встряхиватель 4 передвигает один из электродов и обеспечивает непрерывное протекание процесса электродиспергирования.

При этом использовали следующие электрические параметры установки электродиспергирования: емкость конденсаторов 65,0 мкФ; напряжение на электродах от 195 до 205 В; частота следования импульсов 180-220 Гц. Полученный твердосплавный порошок исследовали различными методами.

Исследование формы и морфологии поверхности частиц, полученных электродиспергированием металлоотходов, проводили на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе с полевой эмиссией электронов *QUANTA 600 FEG* (Нидерланды). Гранулометрический состав и средний размер частиц твердосплавного порошка исследовали на лазерном анализаторе размеров частиц *Analysette 22 NanoTec* (Германия).

Элементный состав частиц твердосплавного порошка исследовали путем проведения рентгеноспектрального микроанализа на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы *EDAX* (Нидерланды), встроенного в растровый электронный микроскоп *QUANTA 200 3D* (Нидерланды).

Анализ фазового состава частиц твердосплавного порошка проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре *Rigaku Ultima IV* (Япония) в излучении *Cu-Kα* (длина волны λ = 0,154178 нм).

Результаты и обсуждение. Очень важной характеристикой частиц твердосплавного порошка, от которых зависит большая часть других свойств, служит размер и форма частиц. Прежде чем приступить к определению размеров частиц, необходимо установить их форму.

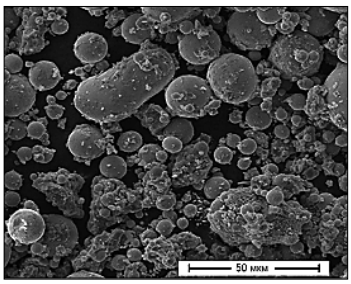


Рис. 2. Микрофотографии частиц твердосплавного порошка

Результаты исследования формы и морфологии частиц твердосплавного порошка представлены изображением частиц, полученным на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе с полевой эмиссией электронов *QUANTA 600 FEG* (Нидерланды) (*рис. 2*).

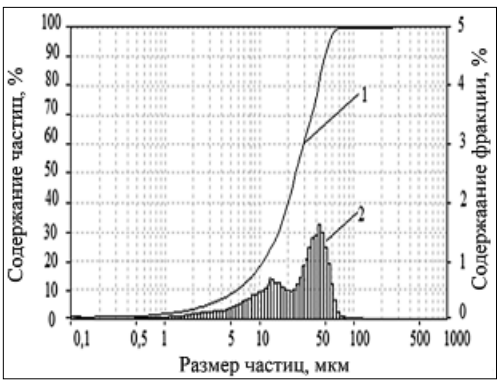


Рис. 3. Интегральная кривая (1) и гистограмма (2) распределения по размерам частиц твердосплавного порошка

Микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью растрового электронного микроскопа *QUANTA 600 FEG*, показал, что порошок, полученный методом ЭЭД из отходов сплава Т30К4, состоит в основном из частиц правильной сферической формы.

Результат исследования гранулометрического состава частиц твердосплавного порошка показали на *рисунке 3*.

Экспериментально установили, что электроэрозионные частицы могут иметь размеры от 0,25 до 100 мкм со средним объемным диаметром 58,4 мкм.

Рентгеноспектральный микроанализ частиц твердосплавного порошка, проведенный с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы *EDAX*, встроенного в растровый электронный микроскоп *QUANTA 600 FEG*, показал, что порошок состоит из следующих равномерно распределенных по объему частиц элементов: *Co, Ti* и *W* (*рис. 4*).

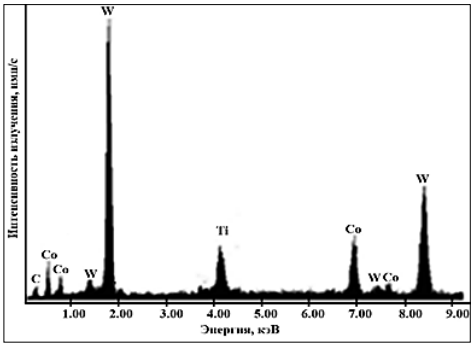


Рис. 4. Спектрограмма элементного состава твердосплавного порошка

Анализ фазового состава частиц порошка, проведенный с помощью рентгеновской дифракции на дифрактометре *Rigaku Ultima IV*, показал, что частицы порошка, полученные методом электроэрозионного диспергирования из отходов твердого сплава марки Т30К4, состоят из следующих фаз: *WC, TiC* и *W* (*рис. 5*).

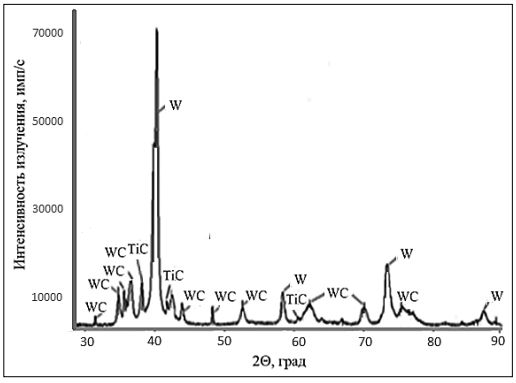


Рис. 5. Дифрактограмма фазового состава твердосплавного порошка

В процессе электродиспергирования частицы металлоотхода, которые выбрасываются из канала электрического разряда в расплавленном виде в реактор, заполненный рабочей жидкостью, очень быстро кристаллизуются. Процесс быстрой кристаллизации расплавленного материала в жидкой рабочей среде способствует приданию частицам формы сферы и эллипса.

После выхода из зоны разряда частицы расплавленного материала весьма часто сталкиваются между собой. Если в момент столкновения кристал-

лизация была полностью завершена, то на частицах остаются характерные следы от ударов и сетчатая поверхность. Если же разница температур столкнувшихся частиц незначительна, то происходит их слипание с образованием агломератов неправильных формы.

Образование частиц сферической формы в процессе электродиспергирования металлоотходов является очень важной особенностью данного процесса, поскольку сферические частицы в плазменных покрытиях служат минимальными концентраторами напряжений и обеспечивают этим материалам высокие механические свойства [16-24].

Выводы. Разработана и исследована новая технология получения твердосплавного электроэрозионного порошка, пригодного для плазменно-порошковой наплавки, эффективность которой подтверждается свойствами нового материала: сферическая форма частиц порошка; средний размер частиц порошка составляет 58,4 мкм; частицы порошка с равномерным распределением легирующих элементов *C, Co, Ti* и *W*; частицы порошка включают в себя фазы карбидов *WC* и *TiC*. Проведенные исследования показали, что способом электроэрозионного диспергирования отходов твердого сплава марки Т30К4 можно получить износостойкий порошок-сплав с равномерным распределением легирующих элементов.

Библиографический список

1. Задорожний Р.Н., Романов И.В., Зуевский В.А., Сидоркин О.А. Применение вторичных твердосплавных порошков для восстановления и упрочнения деталей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19. N2(218). С. 77-80.

2. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Получение металлических порошковых материалов для аддитивных технологий // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N2(147). С. 155-164.

3. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Выделение мелкодисперсной фракции порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. N3(140). С. 119-127.

4. Latypov R.A., Ageeva E.V., Latypova G.R. Properties of the composite galvanic coatings fabricated using the dispersed wastes of ShKh15 steel. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 6. 632-635.

5. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Effect of temperature on the porosity of the additive products vade of the dispersed wastes of cobalt-chromium alloys. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 12. 1300-1303.

6. Latypova G.R., Karpenko N.N., Latypov R.A., Ageeva E.V. Composition and properties of the powder fabricated from the waste of high-speed r18 tool steel by electroerosion dispersion. Russian Metallurgy (Metally). 2020. Vol. 6. 698-701.

7. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Ageeva E.V., Pykhtin A.I.. Structure and mechanical properties of powders obtained by electrodisperging cobalt-chromium alloy. Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19(1). 230-236.

8. Ageeva E.V., Ageev E.V., Latypov R.A. Properties of the VNZH pseudoalloy sintered from spark erosion powders fabricated in distilled water. Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 6. 119-123.

9. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Mathematical optimization of the process of electrodispergation of the waste of the alloy of the residence permit. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 22(2). 389-401.

10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Development of scientific and technological foundations for a new environmentally friendly and waste-free process for grinding conductive waste into micro- and nanofractions powders. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 21(4). 314-326.

11. Ageev E.V., Ageeva E.V., Khoryakova N.M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W-Ni-Fe 95 pseudoalloy in kerosene. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15. N4. 723-727.

12. Ageev E.V., Ageeva E.V. Wear resistance of hardened components produced from electrospark cobalt-chromium powder by additive manufacturing. Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. N8. 731-733.

13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. A study of the structure and properties of hardened additive articles obtained from electroerosion cobalt-chromium powder. Metal Science and Heat Treatment. 2021. Vol. 63. N12.

14. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. Metallurgist. 2022. Vol. 66. N1-2. 146-154.

15. Ageev E.V., Ageeva E.V., Korolev M.S. Study of the surface state of powders produced under conditions of the electroerosive metallurgy of T5K10 hard-alloy waste. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2022. Vol. 16. N6. 1333-1336.

16. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

17. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С., Коневцов Л.А., Величко С.А. Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

18. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. N3. С. 32-37.

19. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Павлов В.А. Технологические особенности восстановления валов плазменной наплавки // Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т.16. N2. С. 566-569.

20. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

21. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

22. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. N3. С. 5-7.

23. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронов Д.А., Родионова И.Г., Кузнецов П.А., Голосиенко С.А., Бобкова Т.И., Деев А.А., Чернобаев С.П., Пичужкин С.А., Рябов В.В., Кудрявцева И.В., Юрков М.А. К вопросу применения новых наноматериалов для рабочих органов почвообрабатывающих машин // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ. 2012. С. 229-234.

24. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N6. С. 27-31.

References

1. Zadorozhniy R.N., Romanov I.V., Zuyevskiy V.A., Sidorkin O.A. Primeneniye vtorichnykh tverdosplavnykh poroshkov dlya vosstanovleniya i uprochneniya detaley [The use of secondary carbide powders for the restoration and hardening of parts]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2023. Vol. 19. N2(218). 77-80 (In Russian).

2. Romanov I.V., Zadorozhniy R.N. Polucheniye metallicheskikh poroshkovykh materialov dlya additivnykh tekhnologiy [Production of metal powder materials for additive technologies]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N2(147). 155-164 (In Russian).

3. Romanov I.V., Zadorozhniy R.N. Vydeleniye melkodispersnoy fraktsii poroshkov, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Separation of the fine fraction of powders obtained by the method of electroerosive dispersion]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2020. Vol. 58. N3(140). 119-127 (In Russian).

4. Latypov R.A., Ageeva E.V., Latypova G.R. Properties of the somposite galvanic coatings fabricated using the dispersed wastes of ShKh15 steel. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 6. 632-635.

5. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Y., Ageeva E.V. Effect of temperature on the porosity of the additive products vade of the dispersed wastes of cobalt-chromium alloys. Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 12. 1300-1303.

6. Latypova G.R., Karpenko N.N., Latypov R.A., Ageeva E.V. Composition and properties of the powder fabricated from the waste of high-speed r18 tool steel by electroerosion dispersion. Russian Metallurgy (Metally). 2020. Vol. 6. 698-701.

7. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Ageeva E.V., Pykhtin A.I.. Structure and mechanical properties of powders obtained by electrodisperging cobalt-chromium alloy. Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19(1). 230-236.

8. Ageeva E.V., Ageev E.V., Latypov R.A. Properties of the VNZH pseudoalloy sintered from spark erosion powders fabricated in distilled water. Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 6. 119-123.

9. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Mathematical optimization of the process of electrodispergation of the waste of the alloy of the residence permit. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 22(2). 389-401.

10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Kuzovleva O.V., Gvozdev A.E. Development of scientific and technological foundations for a new environmentally friendly and waste-free process for grinding conductive waste into micro- and nanofractions powders. Chebyshevskii Sbornik. 2021. Vol. 21(4). 314-326.

11. Ageev E.V., Ageeva E.V., Khoryakova N.M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W-Ni-Fe 95 pseudoalloy in kerosene. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15. N4. 723-727.

12. Ageev E.V., Ageeva E.V. Wear resistance of hardened components produced from electrospark cobalt-chromium powder by additive manufacturing. Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. N8. 731-733.

13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. A study of the structure and properties of hardened additive articles obtained from electroerosion cobalt-chromium powder. Metal Science and Heat Treatment. 2021. Vol. 63. N12.

14. Ageev E.V., Ageeva A.E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. Metallurgist. 2022. Vol. 66. N1-2. 146-154.

15. Ageev E.V., Ageeva E.V., Korolev M.S. Study of the surface state of powders produced under conditions of the electroerosive metallurgy of T5K10 hard-alloy waste. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2022. Vol. 16. N6. 1333-1336.

16. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

17. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., Konevtsov L.A., Velichko S.A. Vliyaniye prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

18. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Lyalyakin V.P. Praktika primeneniya plazmenno-poroshkovoy naplavki pri vosstanovlenii iznoshennykh detaley mashin [The practice of using plasma-powder surfacing in the restoration of worn machine parts]. Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2019. N3. 32-37 (In Russian).

19. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Pavlov V.A. Tekhnologicheskiye osobennosti vosstanovleniya valov plazmennoy naplavki [Technological features of restoration of plasma surfacing shafts]. Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii. 2018. Vol.16. N2. 566-569 (In Russian).

20. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. Metallurgist. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

21. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevsky Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

22. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosiyenko S.A. Nauchnyye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of increasing the wear resistance of working bodies of tillage machinery]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2012. N3. 5-7 (In Russian).

23. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironov D.A., Rodionova I.G., Kuznetsov P.A., Golosiyenko S.A., Bobkova T.I., Deyev A.A., Chernobayev S.P., Pichuzhkin S.A., Ryabov V.V., Kudryavtseva I.V., Yurkov M.A. K voprosu primeneniya novykh nanomaterialov dlya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [The issue of the use of new nanomaterials for the working bodies of tillage machines]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM. 2012. 229-234 (In Russian).

24. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Vaynerman A.E., Pichuzhkin S.A., Golosiyenko S.A., Chernobayev S.P., Yurkov M.A. Novyye iznosostoykiye naplavochnyye materialy v sel'skokhozyaystvennom mashinostroyenii [New wear-resistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N6. 27-31 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Агеева Е.В. – подготовка текста, анализ литературных данных;
Серебровский В.И. – анализ результатов исследования формы и морфологии поверхности частиц, изучение гранулометрического состава частиц полученного порошка, доработка текста статьи;
Агеев Е.В. – научное руководство, анализ данных рентгеноспектрального и фазового исследования частиц, доработка текста статьи;

Кончин В.А. – получение порошков электродиспергированием отходов сплава Т30К4 в осветительном керосине, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Ageeva E.V. – preparation of the manuscript, analysis of literary data;
Serebrovsky V.I. – analysis of the results of the study of the shape and morphology of the surface of the particles, the study of the granulometric composition of the particles of the obtained powder, finalization of the manuscript;
Ageev E.V. – scientific guidance, analysis of data from X-ray spectral and phase studies of particles, revision of the manuscript;
Konchin V.A. – obtaining powder by electrodispersion of T30K4 alloy waste in lighting kerosene, manuscript editing.

All the authors have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-157-164 УДК 621.3

Модернизация установки для электроэрозионного диспергирования

Илья Владимирович Романов, младший научный сотрудник;
Роман Николаевич Задорожний, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Елизавета Юрьевна Кудряшова, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: gosniti1953@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Очень часто в технологиях ремонта и восстановления деталей, а также при создании новых деталей, используют порошки металлов и сплавов. С развитием машиностроения к таким материалам предъявляются высокие требования, которые связаны с определенными физико-химическими и гранулометрическими показателями. В настоящее время известно большое количество разнообразных способов получения металлических порошков. Многие из них имеют ряд недостатков: высокие энергозатраты, неправильная форма частиц, наличие примесей. Метод электроэрозионного диспергирования служит одним из наиболее энергоэффективных и позволяет получать металлические порошки с частицами правильной формы и малых размеров. Однако существующие установки не дают возможности вывести процесс на промышленный уровень в связи с устаревшими и маломощными компонентами электрических схем. (Цель исследования) Увеличить производительность и коэффициент полезного действия установки для электроэрозионного диспергирования, а также улучшить качественные характеристики металлических порошков, получаемых с ее помощью. (Материалы и методы) Изучили литературные источники, научные работы и патенты, использовали лабораторную установку ЦКП «Нано-Центр» ФНАЦ ВИМ. (Результаты и обсуждение) Описали процесс электроэрозионного диспергирования, рассмотрели принцип работы существующей лабораторной установки. Выявили, что данная установка имеет ряд недостатков, которые существенно влияют на показатели производительности и коэффициент полезного действия. Предложили варианты модернизации и разработали новую электрическую схему наиболее важного узла установки, которую дополнили вспомогательными электронными компонентами. Оснастили конструкцию принципиально новыми узлами. (Выводы) Предложенная схема модернизированной установки для электроэрозионного диспергирования обеспечивает повышение производительности и коэффициента полезного действия и отвечает современным промышленным требованиям.*

Ключевые слова: *электроэрозионное диспергирование, лабораторная установка, модернизация, электронные компоненты, производительность.*

Для цитирования: *Романов И.В., Задорожний Р.Н., Кудряшова Е.Ю. Модернизация установки для электроэрозионного диспергирования // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 157-164. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-157-164. QOMNPC.*

Modernization of the installation for electric erosion dispersion

Il'ya V. Romanov, junior researcher;
Roman N. Zadorozhniy, Ph.D.(Eng.), leading researcher;

Elizaveta Yu. Kudryashova, Ph.D.(Eng.), research assistant
Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Very often, powders of metals and alloys are used in the technologies of repair and restoration of parts, as well as when creating new parts. With the development of mechanical engineering, high requirements are imposed on such materials, which are associated with certain physico-chemical and granulometric indicators. Currently, a large number of different methods for producing metal powders are known. Many of them have a number of disadvantages: high energy consumption, irregular particle shape, the presence of impurities. The method of electroerosive dispersion is one of the most energy-efficient and allows to obtain metal powders with particles of the correct shape and small sizes. However, existing installations do not make it possible to bring the process to the industrial level due to outdated and low-power components of electrical circuits. (Research purpose) The research purpose is increasing the productivity and efficiency of the installation for electroerosive dispersion, as well as improving the quality characteristics of metal powders obtained with its use. (Materials and methods) Studied literary sources, scientific papers and patents, used the laboratory installation of the CCP "Nano-Center" FNAC VIM. (Results and discussion) Described the process of electroerosive dispersion, examined the principle of operation of the existing laboratory installation. It was revealed that this installation has a number of disadvantages that significantly affect performance indicators and efficiency. They proposed modernization options and developed a new electrical circuit of the most important unit of the installation, which was supplemented with auxiliary electronic components. The structure was equipped with fundamentally new nodes. (Conclusions) The proposed scheme of an upgraded installation for electroerosive dispersion provides an increase in productivity and efficiency and meets modern industrial requirements.*

Keywords: *electroerosive dispersion, laboratory installation, modernization, electronic components, productivity.*

For citation: *Romanov I.V., Zadorozhniy R.N., Kudryashova E.Yu. Modernizatsiya ustanovki dlya elektroerozionnogo dispergirovaniya [Modernization of the installation for electric erosion dispersion]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 157-164 (In Russian).DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-157-164. QOMNPC.*

Введение. В машиностроении широко применяются металлические порошки разного назначения. Способы получения указанных порошков можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся механические способы, а ко второй – физико-химические. Иногда с целью улучшения характеристик получаемого порошка применяют комбинированные способы [1]. Часто свойства порошка одного и того же металла существенно изменяются в зависимости от метода производства. Порошки, идентичные по химическому составу, могут иметь разные физические характеристики и резко различаться по технологическим свойствам, что приводит к значительным изменениям условий дальнейшего превращения порошка в готовые изделия и влияет на их свойства. Разнообразие требований, предъявляемых к порошкам в зависимости от области их применения, а также свойства (природа) самих металлов объясняют существование большого числа различных методов производства металлических порошков [2, 3].

Анализ исследовательских работ в области порошковой металлургии показывает, что большинство из них связано с вопросами повышения производительности, экономичности производства и уменьшения размеров частиц [4].

Недостатками многих современных способов получения металлических порошков служат загрязнение получаемого продукта посторонними химическими соединениями, неоднородность формы частиц, большой разброс по размерам частиц. Ко всему этому добавляются большие энергетические затраты на плавление металла, в некоторых случаях нужна специальная подготовка исходных материалов (изготовление электродов, приготовление растворов и др.). Поэтому наиболее перспективен метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) металлических отходов машиностроительных производств, при котором возможно получать порошки практически любых токопроводящих материалов. Получаемые порошки имеют в основном сферические частицы размером от 0,01 до 100 мкм. Причем, изменяя электрические параметры процесса диспергирования, можно управлять шириной и смещением интервала размера частиц, а также производительностью процесса [5].

Следует отметить, что способ ЭЭД начинает успешно конкурировать с другими способами получения порошков, в том числе и нанопорошков. Основные достоинства электроэрозионного диспергирования заключаются в хорошей управляемости, низкой энергоемкости, экологичности процесса, высоких физико-механических характеристиках получаемых порошков [6]. Однако большая часть установок для ЭЭД имеет низкую производительность и стабильность процесса. Поэтому в современных условиях важна их модернизация, оснащение новыми электронными компонентами, выход установок на промышленный уровень.

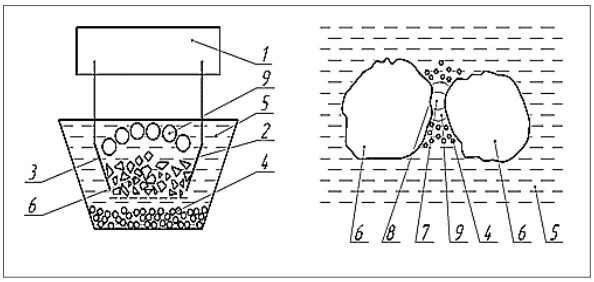
Цель исследования – увеличить производительность и коэффициент полезного действия установки для электроэрозионного диспергирования, а также улучшить качественные характеристики металлических порошков, получаемых с ее помощью.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи применили комплексный подход, который включал анализ литературных и патентных источников, конструкций существующих установок подобного типа. В качестве прототипа была использована лабораторная установка для электроэрозионного диспергирования, имеющаяся в распоряжении ЦКП «Нано-Центр» ФНАЦ ВИМ. Были изменены и дополнены элементы электрической схемы, введены новые функциональные узлы.

Результаты и обсуждение. Процесс электроэрозионного диспергирования представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. Достижение этой цели осуществляется использованием импульсного напряжения, а ЭЭД проходит в жидкой среде (рабочей жидкости – РЖ), которая заполняет зазор между электродами, называемый межэлектродным промежутком (МЭП) или межэлектродным зазором [7].

Для практического осуществления процесса ЭЭД через МЭП должны проходить импульсы тока с определенной амплитудой и частотой, разделенные интервалами, во время которых ток между электродами отсутствует. Тепловой эффект, создаваемый стационарной дугой, для ЭЭД непригоден, так как при этом происходит расплавление больших объемов материала. Поэтому существенное условие нормального хода процесса ЭЭД заключается в необходимости стабильного поддерживания импульсного тока и предупреждении перехода импульсных разрядов в электрическую дугу [8]. Описанный процесс ЭЭД представлен на *рисунке* 1. Импульсное напряжение генератора импульсов 1 прикладывается к электродам 2, 3 и далее к лому металла 6 (в качестве электродов также служит лом металла). При достижении напряжения определенной величины происходит электрический пробой рабочей жидкости 5, находящейся в межэлектродном пространстве с образованием канала разряда 7.

Благодаря высокой концентрации тепловой энергии материал в точке разряда 8 плавится и испаряется, РЖ испаряется и окружает канал разряда газообразными продуктами распада 9 (газовым пузырем). В результате развивающихся в канале разряда и газовом пузыре значительных динамических сил, капли расплавленного материала 4 выбрасываются за пределы зоны разряда в РЖ, окружающую пластины металлического материала, и застывают в ней, образуя сферические или эллиптические частицы порошка металла [9].



а *б*

Рис. 1. Процесс ЭЭД: а – схема реактора установки; б – схема процесса: 1 – генератор импульсов; 2, 3 – электроды; 4 – капли расплавленного материала; 5 – рабочая жидкость; 6 – лом металла; 7 – канал разряда; 8 – точка разряда; 9 – газовый пузырь

Формирование импульсов электрической энергии, подаваемых в МЭП, происходит с помощью специальных генераторов импульсов. Генератор импульсов (ГИ) – это устройство, преобразующее переменный ток промышленной частоты и формирующее импульсы заданной амплитуды, длительности и частоты следования [10]. Лабораторная установка, представляющая собой прототип, состоит из регулятора напряжения, генератора импульсов и реактора (*рис. 2*).

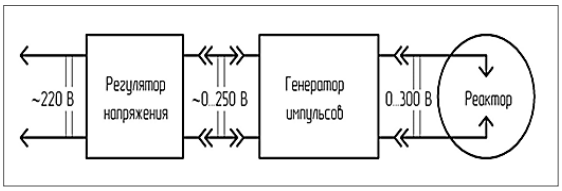


Рис. 2. Структурная схема установки ЭЭД

Генератор импульсов собран по однозвенной схеме с резонансным зарядом рабочего емкостного накопителя от источника постоянного напряжения и содержит силовой блок и блок управления. Установка позволяет изменять только два параметра импульсов технологического тока. Это негативно сказывается на производительности и КПД. Тепловая теория электрической эрозии утверждает, что производительность электроэрозионного разрушения материала пропорциональна в определенных пределах вводимой в рабочую зону мощности электрического тока. Поэтому существенное условие нормального процесса электроэрозионного диспергирования – необходимость поддерживать стабильный импульсный ток большой мощности с определенными параметрами, которые зависят от диспергирования конкретного материала. В прототипе изменение параметров импульсов технологического тока связано только с амплитудой и частотой следования, что объясняется применением морально устаревших разрядных тиристорных коммутаторов. При осуществлении диспергирования материалов с высокой температурой плавления (вольфрам, титан и др.) изменения этих параметров недостаточно, так как в процессе разрушения единичной площади поверхности необходимо на-

гревать материал до очень высоких температур, которые можно достигнуть не только за счет амплитуды, но и длительности, а также формы разрядного импульса технологического тока. Негативным является и то, что неподвижность электродов в процессе работы может приводить к залипанию, спайке и коротким замыканиям, что также снижает производительность установки.

Технической задачей модернизации установки служит повышение производительности процесса и КПД путем совершенствования технологии получения нанодисперсных порошков, обеспечивающей прогнозирование размера частиц диспергируемого материала [11-13]. Поставленная техническая задача достигается тем, что устройство содержит реактор для загружаемых в него токопроводящих материалов и рабочей жидкости; два электрода и генератор импульсов, собранный по однозвенной схеме с буферными конденсаторами от источника постоянного напряжения; имеет блок питания, силовой блок и блок управления. Электрическая схема дополнена электронными транзисторными ключами, соединенными с электродами. Силовой блок состоит из однофазного выпрямителя, выход которого соединен с группой разрядных конденсаторов, а также из датчика касания и вибрирующего устройства, соединенных с электродами и блоком управления (*рис. 3*).

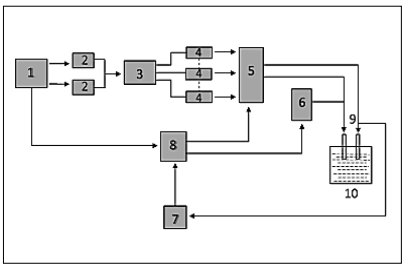


Рис. 3. Блок-схема устройства для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов: 1 – блок питания; 2 – буферные конденсаторы; 3 – схема распределения накопленной энергии; 4 – разрядные конденсаторы; 5 – электронные транзисторные ключи; 6 – вибрирующее устройство; 7 – датчик касания; 8 – блок управления; 9 – электроды; 10 – диэлектрический реактор

Устройство работает следующим образом. После включения блока питания 1 устанавливаются режимы работы на блоке управления 8, а именно: частота и амплитуда вибрации устройства 6 с закрепленными электродами, частота следования, длительность и амплитуда разрядных импульсов тока, напряжение на электродах 9. Эти режимы подбираются экспериментально исходя из особенностей технологического процесса диспергирования конкретного материала. Блок питания 1 заряжает буферные конденсаторы 2, далее через схему 3 происходит частичное распределение накопленной энергии в разрядные конденсаторы 4. Количество разрядных конденсаторов 4 и их емкость рассчитывается исходя из потребляемой мощности устройства. Вибрирующее устройство 6 установлено в диэлектрическом реакторе 10 с загруженными в него металлическим ломом и рабочей жидкостью, и имеет контактное соединение с одним из полюсов блока питания 1 через блок управления 8. В момент касания электрода 9 поверхности диспергируемого материала датчик касания 7 подает сигнал на блок управления 8, который по заданной программе включает вибрирующее устройство 6 и электронные ключи 5. Они в свою очередь соединены с электродами 9, установленными на вибрирующем устройстве 6. Группы конденсаторов 4 разряжаются поочередно. Таким образом формируется импульс технологического тока.

В момент прохождения разрядного тока работа вибратора 6 прекращается. После окончания разрядки конденсаторов 4 ключи 5 автоматически закрываются и включается схема 3 заряда разрядных конденсаторов 4 и вибрирующее устройство 6. Такой принцип работы позволяет получать импульсы технологического тока до 1000 А большой длительности (порядка 1-30 мс), форму, амплитуду и частоту которых можно регулировать (*рис. 4*).

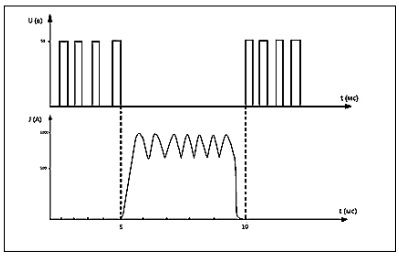


Рис. 4. Осциллограмма напряжения на катушке вибратора и импульс технологического тока на разрядном промежутке

Технические характеристики разрабатываемой установки привели в *таблице.*

Таблица

Технические характеристики установки для ЭЭД

Тип установки	Стационарная
Напряжение питания устройства, В	220
Потребляемая мощность, кВт	до 6
Производительность, не менее г/ч	15
Пределы регулирования:	
- частоты следования импульсов, $с^{-1}$	0-1000
- емкость разрядных конденсаторов, мкФ	5-50
- напряжение на электродах, В	0-220

Выводы. Была сконструирована новая установка для электроэрозионного диспергирования с повышенной производительностью и КПД, отвечающая современным промышленным требованиям. Технико-экономическая эффективность новой установки обеспечивается возможностью получения особо чистых ультра- и нанодисперсных металлопорошков, полного исключения загрязнения в процессе диспергирования, в том числе оксидами; возможностью диспергирования металлов и сплавов с критическими химическими и физическими свойствами (тугоплавкость, твердость, хрупкость, радиоактивность, химическая активность и т. д.); возможностью обеспечить получение порошковых материалов с размером частиц от 50 нм до 50 мкм преимущественно сферической и эллиптической формы; экологической чистотой – отсутствие стоков, газовых и пылевых выбросов (в методе ЭЭД реагенты, как правило, не используются − в отдельных случаях возможно выделение водорода); низкой удельной энергоемкостью процесса (0,1 кВт для производства 1 кг порошка); компактностью технологического оборудования (0,8-1 $м^2$ на одну установку) и др.

Библиографический список

1. Кашапов Р.Н., Кашапов Н.Ф., Кашапов Л.Н. Анализ и разработка методов получения металлических порошков для селективного лазерного сплавления // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2017. N4(44). С. 102-111.

2. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Методы получения металлических порошков для технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной тех-

ники // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. N8. С. 58-65.

3. Сельдюкова Ю.Н. Исследование методов получения и свойств металлических порошков для изготовления детали «поршень» // Проблемы и тенденции научных исследований в системе образования: сборник статей Международной научно-практической конференции. Ч. 3. Тюмень. 2019. С. 79-83.

4. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Получение металлических порошковых материалов для аддитивных технологий // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N2(147). С. 155-164.

5. Романов И.В., Задорожний Р.Н. Выделение мелкодисперсной фракции порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. N3(140). С. 119-127.

6. Агеев Е.В., Переверзев А.С. Инновации в производстве автомобильных антифрикционных материалов // Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее: Сбор.статей 3-й Междунар.науч.-техн. конф. Курск. 2021. С. 12-16.

7. Гадалов В.Н., Филонович А.В., Ворначева И.В., Рощупкин В.М. О методах получения порошковых материалов и быстрозакристаллизованных ультрадисперсных порошков. Обзор. // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. N6. С. 31-39.

8. Бобошко С.В., Старинец В.Н. Разработка экспериментального генератора импульсов для выявления оптимальных режимов электроэрозионной обработки различных материалов // Вологдинские чтения. 2007. N65. С. 27-30.

9. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А., Бобрышев Р.В. Разработка установки для получения порошков из токопроводящих материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. N5-2. С. 234-237.

10. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Разработка генератора импульсов установки электроэрозионного диспергирования // Информационно-измерительные, диагностические и управляющие системы. Диагностика–2009: сборник материалов Международной научно-технической конференции. В 2 ч. Ч. 2. Курск. 2009. С. 144-147.

11. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Дорохов А.С., Коневцов Л.А, Величко С.А. Влияние природы электродных материалов на эрозию и свойства легированного слоя. Критерии оценки эффективности электроискрового легирования // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N3. С. 302-320.

12. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

13. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехничекие материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45.

References

1. Kashapov R.N., Kashapov N.F., Kashapov L.N. Analiz i razrabotka metodov polucheniya metallicheskih poroshkov dlya selektivnogo lazernogo splavleniya [Analysis and development of methods for obtaining metal powders for selective laser alloying]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. 2017. N4(44). 102-111 (In Russian).

2. Romanov I.V., Zadorozhnij R.N. Metody polucheniya metallicheskih poroshkov dlya tekhnologij vosstanovleniya i uprochneniya detalej sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Methods for obtaining metal powders for technologies for the restoration and hardening of parts of agricultural machinery]. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2021. N8. 58-65 (In Russian).

3. Sel'dyukova Yu. N. Issledovanie metodov polucheniya i svojstv metallicheskih poroshkov dlya izgotovleniya detali "porshen'" [Obtaining and properties of metal powders for the manufacture of the piston]. Problemy i tendencii nauchnyh issledovanij v sisteme obrazovaniya: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Ch. 3. Tyumen'. 2019. 79-83 (In Russian).

4. Romanov I.V., Zadorozhnij R.N. Poluchenie metallicheskih poroshkovyh materialov dlya additivnyh tekhnologij [Obtaining metal powder materials for additive technologies].

Tekhnicheskij servis mashin. 2022. Vol. 60. N2(147). 155-164 (In Russian).

5. Romanov I.V., Zadorozhnij R.N. Vydelenie melkodispersnoj frakcii poroshkov, poluchennyh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Separation of the finely dispersed fraction of powders obtained by the method of electroerosive dispersion]. Tekhnicheskij servis mashin. 2020. Vol. 58. N3(140). 119-127 (In Russian).

6. Ageev E.V., Pereverzev A.S. Innovacii v proizvodstve avtomobil'nyh antifrikcionnyh materialov [Innovations in the production of automotive anti-friction materials]. Avtomobili, transportnye sistemy i processy: nastoyashchee, proshloe i budushchee: sbornik statej 3-j Mezhdunarodnojnauchno-tekhnicheskoj konferencii. Kursk. 2021. 12-16 (In Russian).

7. Gadalov V.N., Filonovich A.V., Vornacheva I.V., Roshchupkin V.M. O metodah polucheniya poroshkovyh materialov i bystrozakristallizovannyh ul'tradispersnyh poroshkov. Obzor [Methods for obtaining powder materials and rapidly crystallized ultrafine powders. Overview]. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2016. N6. 31-39 (In Russian).

8. Boboshko S.V., Starinec V.N. Razrabotka eksperimental'nogo generatora impul'sov dlya vyyavleniya optimal'nyh rezhimov elektroerozionnoj obrabotki razlichnyh materialov [Development of an experimental pulse generator to identify optimal modes of electroerosive processing of various materials]. Vologdinskie chteniya. 2007. N65. 27-30 (In Russian).

9. Ageev E.V., Semenihin B.A., Latypov R.A., Bobryshev R.V. Razrabotka ustanovki dlya polucheniya poroshkov iz tokoprovodyashchih materialov [Development of an installation for obtaining powders from conductive materials]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2009. Vol. 11. N5-2. 234-237 (In Russian).

10. Ageev E.V., Semenihin B.A., Latypov R.A. Razrabotka generatora impul'sov ustanovki elektroerozionnogo dispergirovaniya [Development of the pulse generator for the installation of electroerosive dispersion]. Informacionno-izmeritel'nye, diagnosticheskie i upravlyayushchie sistemy. Diagnostika–2009: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. In 2 ch. Ch. 2. Kursk. 2009. 144-147 (In Russian).

11. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Dorokhov A.S., Konevtsov L.A., Velichko S.A. Vliyanie prirody elektrodnykh materialov na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya. Kriterii otsenki effektivnosti elektroiskrovogo legirovaniya [Influence of the electrode materials on erosion and properties of the alloyed layer. Criteria for evaluating the effectiveness of electric spark alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).

12. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electrosparks a secondary bronze coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.

13. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnichekie materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Романов И.В. – анализ литературных данных, подготовка текста;
Задорожний Р.Н. – научное руководство, анализ экспериментальных данных;
Кудряшова Е.Ю. – доработка текста, анализ литературных данных.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Romanov I.V. – analysis of literary data, text preparation;
Zadorozhny R.N. – scientific guidance, analysis of experimental data;
Kudryashova E.Yu. – revision of the text, analysis of literary data.
All the authors have read and approved the final manuscript.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

(cc) BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-166-176 УДК 631.372:629.735

Авиация на службе сельского хозяйства СССР: история вопроса

Дмитрий Алексеевич Соболев, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: daso1152@mail.ru
Институт истории естествознания и техники
Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Советский Союз был первой страной, где на государственном уровне велись работы по опылению химикатами и севу сельскохозяйственных культур с воздуха. (Цель исследования) Провести полноценный обзор по истории применения авиации в народном хозяйстве СССР почти за 70 лет; описать типы летательных аппаратов для опыления растений и борьбы с вредными насекомыми – «Конёк-Горбунок», АП, Ан-2СХ, М-15, легкие вертолеты «Ми» и «Ка». (Материалы и методы) Написали работу на основе сбора и анализа архивных документов и мемуарной литературы по данной теме. (Результаты и обсуждение) Показали ошибочность решения о применении реактивной авиации для сельскохозяйственных задач. Данная идея возникла в связи с желанием повсеместно перейти на использование керосина вместо более дорого авиационного бензина, но особенности турбореактивного двигателя оказались несовместимы с задачами сельскохозяйственных авиаработ. Отметили – по себестоимости использования самым удачным был биплан Ан-2 – от 1,2 рубля на гектар, что заметно дешевле по сравнению с М-15 и вертолетами. На создание самолета уходило около 10 лет, а применялся он в сельскохозяйственной авиации более 40 лет. (Выводы). Составили диаграмму авиационной обработки полей и лесов в 1932-1990 годах по результатам отчетов Министерства гражданской авиации. Выделили три этапа в истории авиационных сельскохозяйственных работ: 1932-1952 годы – этап ограниченного применения из-за недостаточного финансирования, 1953-1985 годы – этап быстрого роста объема авиаработ; 1986-1990 годы – резкое двукратное снижение показателей из-за общего экономического кризиса в стране, повышения цен на химикаты и горючее, а также устаревания авиапарка.*

Ключевые слова: *самолет, химикаты, биплан, сельскохозяйственная авиация, обработка полей, распылитель.*

Для цитирования: *Соболев Д.А. Авиация на службе сельского хозяйства СССР: история вопроса // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 166-176. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-166-176. TXFSDI.*

Aviation at the service of agriculture in the USSR: background

Dmitriy A. Sobolev, Ph.D.(Eng.), leading researcher
Institute for the History of Science and Technology
Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation

Abstracts. *The Soviet Union was the first country where chemical pollination and aerial sowing of agricultural crops were carried out at the state level. (Research purpose) The research purpose is a full review of the history of the aviation in the national economy of the USSR for almost 70 years; description of the aircraft for*

pollination of plants and control of harmful insects – "Humpback Horse", AP, An-2SH, M-15, light helicopters "Mi" and "Ka". (Materials and methods) Wrote a paper based on the collection and analysis of archival documents and memoir literature on this topic. (Results and discussion) They showed the fallacy of the decision on the use of jet aircraft for agricultural tasks. This idea arose in connection with the desire to switch everywhere to the use of kerosene instead of more expensive aviation gasoline, but the features of the turbojet engine turned out to be incompatible with the tasks of agricultural aircraft. They noted that the An–2 biplane was the most successful at the cost of use - from 1.2 rubles per hectare, which is noticeably cheaper compared to the M-15 and helicopters. It took about 10 years to create the aircraft, and it was used in agricultural aviation for more than 40 years. (Conclusions). We made a diagram of the aviation processing of fields and forests in 1932-1990 based on the results of the reports of the Ministry of Civil Aviation. Three stages in the history of aviation agricultural work were identified: 1932-1952 – the stage of limited use due to insufficient funding, 1953-1985 - the stage of rapid growth in the volume of aircraft work; 1986-1990 – a sharp twofold decline in indicators due to the general economic crisis in the country, rising prices for chemicals and fuel, as well as the obsolescence of the fleet.

Keywords: *aircraft, chemicals, biplane, agricultural aviation, field treatment, sprayer.*

For citation: *Sobolev D.A. Aviatsiya na sluzhbe sel'skogo khozyaystva SSSR: istoriya voprosa [Aviation at the service of agriculture in the USSR: background]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 166-176 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-166-176. TXFSDI.*

Введение. Советский Союз был первой страной, где на государственном уровне велись работы по опылению химикатами и севу сельскохозяйственных культур с воздуха. Наибольший размах это направление получило в 60-х-80-х годах прошлого века после появления сельскохозяйственных самолетов повышенной грузоподъемности.

Цель исследования – провести полноценный обзор по истории применения авиации в народном хозяйстве СССР почти за 70 лет; описать типы летательных аппаратов для опыления растений и борьбы с вредными насекомыми – «Конёк-Горбунок», АП, Ан-2СХ, М-15, легкие вертолеты «Ми» и «Ка».

Материалы и методы. Работа написана на основе сбора и анализа архивных документов и мемуарной литературы по данной теме.

Результаты и обсуждение. Эксперименты по использованию авиации в сельском хозяйстве начались вскоре после окончания Гражданской войны. В 1922 г. в Москве было образовано общество «Авиакультура», которое возглавил военный летчик, участник Первой мировой войны Игнатий Александрович Валентэй. Общество создавалось в целях изучения возможностей применения самолетов для народного хозяйства.

8 июля 1922 г. по инициативе И.А. Валентэя и его единомышленников, летчиков Б.С. Вахмистрова, В.М. Вишнева, Н.П. Ильзина и С.И. Моисеенко, на Центральном аэродроме в Москве были проведены первые опыты по разбрызгиванию ядохимикатов с самолета для борьбы с насекомыми-вредителями. Ильзин пилотировал машину, а Вахмистров прыскал из ранцевого опрыскивателя химикаты на газеты, разложенные на поле. В конце дня подсчитывали характер потока капель и их число на единицу площади. Опыты продолжили на полях Тимирязевской сельхозакадемии. Всего было сделано 32 полета [1]. Эксперименты дали положительные результаты, и в 1925 г. авиационное общество «Добролёт» приобрело несколько бипланов «Конёк-Горбунок» (граж-

данская версия разведчика «Анаде» времен Первой мировой войны). Оборудованные баком для ядохимикатов в задней кабине, они использовались для уничтожения гнездилищ саранчи в Средней Азии, на Северном Кавказе, на Украине, в Поволжье. Так родилась сельскохозяйственная авиация (*рис. 1*).

Рис. 1. Плакат 1925 г.

Известный полярный летчик Герой Советского Союза Михаил Васильевич Водопьянов начинал свою летную карьеру с опыления вредителей с самолета «Конёк-Горбунок». Он вспоминает: «Нужно было запылить пять тысяч гектаров, зараженных саранчой. Саранча – страшный враг полей и огородов. Похожа она на крупного кузнечика. Зарождается саранча в плавнях, болотах, куда осенью откладывает яички. Уничтожать ее надо тогда, когда у нее еще не выросли крылья, а уж если она полетела, то бороться с ней почти невозможно. Ее так много, что она, как огромная черная туча, закрывает солнце. Помню, один из летчиков едва не погиб, попав в такую тучу саранчи. Земля скрылась от него, вода в радиаторе закипела, так как саранча забила соты радиатора, и мотор остановился. Летчик был вынужден сесть и поломал машину. На самолете был установлен специальный прибор – аэропыл; из него распылялся ядовитый порошок. За день самолет запылял огромную площадь. Вручную с этой работой с трудом могли бы справиться три тысячи человек» [2].

В 1930 г. на авиазаводе N 23 в Ленинграде началось производство двухместного биплана Н.Н. Поликарпова У-2. Его создавали как учебный самолет, но машина оказалась настолько удачной, что вскоре стала применяться для самых разнообразных целей. Среди многочисленных вариантов У-2 был и сельскохозяйственный. Он называл АП, что означало «аэропыл». Летчик сидел впереди, за ним размещался бак на 200 кг ядохимикатов. Порошок из бака попадал в расположенный под самолетом распылитель. Он имел конструкцию в виде раздвоенного короба, из которого распылялся более широкой струей, чем если бы просто высыпался через отверстия в баке (*рис. 2*).

Первые 16 экземпляров АП выпустили в 1930 г., затем темпы производства увеличились. Всего за 1930-1940 гг. построили 1254 сельскохозяйственных У-2. Сначала самолеты АП использовали для уничтожения вредителей, в частности, все той же саранчи. В 1931 г. были проведены опыты по засеванию колхозных полей с самолета. В период голода и неурожая 1932-1933 гг., когда не хватало людей и обычных сеялок, летные отряды на бипланах АП сеяли с воздуха пшеницу и рис, на горных пастбищах высевали дикий овес для скота. В 1933 г. с воздуха было засеяно 53 тыс. га, в 1934 г. – 86 тыс. Но

затем от аэросева пищевых злаков стали отказываться, так как расход семян был большой (не менее 100 кг/га), а всхожесть – невысокой, поскольку ветер часто сносил семена от пашни.

Рис. 2. АП – сельскохозяйственный вариант У-2

К тому же работа оказалась очень трудоемкой: АП не мог поднять больше 200 кг груза, и чтобы засеять поле в один квадратный километр требовалось 50 самолето-вылетов. Зато борьба с насекомыми-вредителями растений и разносчиками заболеваний с каждым годом получала все больший размах (*табл.).*

Таблица

Работа сельхозавиации в 1930-1936 гг.

Площадь обработки, тыс. га	**Годы**						
	1930	**1931**	**1932**	**1933**	**1934**	**1935**	**1936**
Против вредителей в сельском и лесном хозяйстве	61	135	436	404	406	538	677
Против личинок малярийного комара	8,6	111	589	751	1372	2005	2838

Летчики сельскохозяйственный авиации обычно работали вдали от глаз начальства. Иногда это приводило к нарушениям дисциплины, граничащим с преступлениями. В одном из документов 1934 г. сообщалось: «19 июля пилот 216-го отряда спецприменения Украинского Управления Клименко на самолете АП в районе колхоза им. Калинина Баштанского района Одесской области, снизившись на высоту 1 метра, устроил погоню за проходившими по дороге двумя девушками и убил их (ударил шасси). Следствием установлено, что Клименко и ранее систематически гонялся за колхозниками и неоднократно пикировал на жилые помещения с прямой целью запугивания, что, по его признанию, доставляло ему удовольствие» [3].

Иногда в нарушениях дисциплины и чрезвычайных происшествиях были виноваты сами колхозники, которые в благодарность за помощь стремились угостить пилотов спиртным. Но случаи «воздушного хулиганства» были, конечно, большой редкостью. Увеличивалось количество специализированных самолетов, их налетов, увеличивались обработанные с воздуха площади.

Незадолго до начала войны были проведены опыты по использованию автожира (комбинации вертолета и самолета) А-7 бис в лесном и сельском хозяйстве. Для этого Наркомлес организовал экспедицию в предгорья Тянь-Шаня. Склоны гор покрывали тысячи гектаров фруктовых садов, которые страдали от яблочной моли. Вместе с А-7 бис прибыли летчик В. Карпов, инженер Г. Коротких и механики В. Ульянов и Г. Шамшев. На автожире установили оборудование для распыления ядохимикатов. Перед стойкой фермы, крепящей горизонтальный винт, поставили крыльчатку, вращаемую встречным потоком воздуха. От нее шла передача на механизм разбрасывания порошкового ядохимиката из двух баков по бокам фюзеляжа. А-7 бис взлетал, крыльчатка начинала крутиться, за автожиром широким шлейфом расходился порошок и оседал на деревьях. Автожир справлялся с такими задача-

ми не хуже, если не лучше самолета. Во-первых, винтокрылой машине не нужны были площадки для взлета и посадки; во-вторых, воздушный поток от ротора направлял поток ядохимикатов строго вниз, и эффективность их применения возрастала. А-7 бис проработал в предгорьях Тянь-Шаня больше месяца. Газета «Правда» писала: «На днях в Москву возвратились участники авиационно-химической экспедиции треста лесной авиации Наркомлеса СССР. Экспедиция провела опыт использования советского автожира конструкции инженера Н.И. Камова для борьбы с вредителями плодовых деревьев в Южной Киргизии. <…> Это были не совсем обычные полеты. Используя преимущества автожира, летчик круто уходил вверх и, лавируя вдоль отвесных горных склонов, быстро достигал недоступных для обычных самолетов участков. Аппарат легко маневрировал в узких долинах, опускался в чашеобразные горные урочища, внизу разворачивался и снова поднимался. Всего было совершено 32 полета» (*рис. 3*) [4].

Рис. 3. Автожир А-7 бис на склонах Тянь-Шаня

Война поставила крест на мирных экспериментах. Из нескольких построенных А-7 бис сформировали отряд, который осенью 1941 г. использовался для воздушной разведки и корректировки артиллерийского огня. Из-за последствий войны (уменьшения выпуска сельскохозяйственной техники, убыли мужского населения в колхозах и засушливых послевоенных лет) урожаи резко снизились. В ряде регионов начался голод. Для повышения урожайности привлекли авиацию. Во время войны сельскохозяйственных вариантов У-2 (с 1944 г. – По-2) не выпускали, пришлось срочно наращивать производство. К постройке подключили авиазавод в Долгопрудном, который в 1948 г. изготовил 140 По-2А (послевоенное обозначение самолета АП). Помогли и военные, передавшие ГВФ более 100 этих бипланов Поликарпова (*рис. 4*).

Рис. 4. Закачка жидких пестицидов в самолет По-2

В 1948 г. экипажи По-2 обработали с воздуха более 2 млн га – втрое больше, чем в 1940 г. Кроме аэросева и распыления химикатов против вредителей, с самолетов проводилась подкормка озимых посевов минеральными удобре-

ниями. Новым этапом в развитии сельскохозяйственной авиации было создание СХ-1 – первого самолета О.К. Антонова. Его испытания начались 31 августа 1947 г. Для эпохи зарождения реактивной авиации машина выглядела странно – это был большой биплан с неубирающимся шасси. Но самолету сельскохозяйственного назначения, каким он задумывался, важна была не скорость, а простота в управлении и возможность взлетать и садиться с самых примитивных аэродромов. Большая площадь крыльев и мощная посадочная механизация (автоматические предкрылки и щелевые закрылки) как нельзя лучше подходили к этим требованиям. Самолет имел металлическую конструкцию с закрытой кабиной и тканевую обшивку крыльев.

4 октября, после 46 полетов, заводские испытания, проходившие на аэродроме завода №153 в Новосибирске, где тогда работал Антонов, завершились. В заключении по испытаниям летчик НИИ ГВФ П.Н. Володин писал, что «самолет в сельскохозяйственном варианте заводские испытания как с мотором АШ-21, так и с мотором АШ-62ИР прошел удовлетворительно, показав ценные для сельскохозяйственного самолета качества, и может быть передан на государственные испытания». Летчик транспортного отряда завода В.А. Диденко, выполнивший три полета на СХ-1 в качестве второго пилота, дал более эмоциональную оценку: «Машина удивила меня своими ценнейшими качествами при взлете и посадке <…> Посадка на этом самолете исключает элемент выдерживания над землей для погашения скорости, что в практике чрезвычайно ценно, так как дает возможность сократить размер посадочной площадки <…> На разворотах машина устойчива, в управлении проста и очень напоминает По-2. При вынужденных посадках на этом самолете можно без риска производить посадку на проселочные дороги и ограниченные площадки» [5].

В руководстве авиапромышленности без энтузиазма отнеслись к идее производства биплана. Но Антонова поддержал Н.С. Хрущёв, в то время – первый секретарь ЦК КПСС Украины. Он предложил конструктору перебраться в Киев и организовать выпуск своих самолетов. В мае 1950 г. на испытаниях появился Ан-2 заводской сборки с аппаратурой для опыления и опрыскивания растений. Бак для пестицидов и удобрений имел емкость 1400 л, а туннельный распылитель под фюзеляжем позволял рассеивать их полосой шириной 20 м. В течение лета пилоты Украинского управления выполнили более 800 полетов. Они показали, что по часовой производительности Ан-2 в 3-4 раза превосходит По-2 (*рис. 5*).

Рис. 5. Сельскохозяйственный Ан-2 за работой

После испытаний руководитель Главного управления гражданской авиации С.Ф. Жаворонков написал своему начальнику командующему ВВС маршалу П.Ф. Жигарёву: «В настоящее время Гражданский воздушный флот в связи с прекращением производства самолета По-2 крайне нуждается в самолете для работ в сельском хозяйстве. Прошу Вашего указания <…> на

поставку серийных самолетов Ан-2 в сельскохозяйственном варианте для Гражданского воздушного флота с I квартала 1952 года» [6].

За десять лет киевский завод № 473 изготовил 1276 таких самолетов, их производили также в Польше. Они оказали неоценимую помощь колхозам и лесничествам, к 1978 г. на сельскохозяйственных Ан-2 выполнено более 90% аэрохимических работ, обработано около 100 млн га полей и лесов. Получил развитие аэросев леса. Раньше для этого использовали По-2. Теперь задачу взяли на себя пилоты Ан-2 – машин, обладающих намного большей работоспособностью за счет увеличенного радиуса действия, скорости и емкости бака для семян. «Самолет Ан-2 в сельскохозяйственном варианте показал на аэросеве леса в ранневесенний сезон 1955 года хорошую маневренность. В условиях тайги радиофицированный Ан-2 позволяет держать связь с участками засева, аэродромом и лесхозом. Несмотря на ограниченное количество оперативных аэродромов и отдаленность участков засева до 100 км, с самолетов Ан-2 засевали за один полет до 300 га» – сообщалось в журнале «Гражданская авиация [7].

Еще одним новым направлением применения спецавиации стало предуборочное удаление листьев хлопчатника путем опрыскивания полей специальными составами – дефолиантами. Это дели весной, к началу сбора урожая листья отпадали, что позволяло применять механизированную сборку хлопка-сырца. С воздуха один Ан-2 мог обработать до 5 га с хлопковыми растениями в час. Просматривая журнал «Гражданская авиация» за 1956 г., я с изумлением обнаружил заметку под названием «Радиоактивные вещества повышают урожайность хлопка». В ней говорилось: «Чтобы проверить в производственных условиях действие радиоактивных веществ на повышение урожайности и ускорение развития хлопчатника, а также для разработки технических данных для самолетов, весной в совхозе Баяут (Узбекистан) перед посевом хлопка пахота площадью в 40 га была обработана при помощи самолетов. Радиоактивный порошок равномерно лег на пашню и быстро был заделан в почву путем дискования» [8]. К счастью, эта идея не получила дальнейшего развития.

В 1954-1956 гг. для освоения целинных земель Казахстана были направлены Ан-2 сразу нескольких управлений ГВФ. Во многом благодаря их использованию на авиахимических работах по уничтожению сорняков было освоено около 36 млн га новых земель и получены сотни тысяч тонн дополнительного урожая. С 1961 г. Ан-2 стал самым распространенным типом самолета в гражданской авиации – в ней числилось 1857 этих машин, около половины которых предназначались для сельхозработ. Производство велось до 1963 г. Весной 1966 г. на полях страны появился Ан-2М, оснащенный новой высокопроизводительной аппаратурой для химработ. Благодаря этому себестоимость обработки одного га по сравнению с обычным Ан-2 снизилась на 22-27% и увеличилась производительность работ. Кроме того, улучшились условия работы летчика, так как кабина теперь была надежно защищена от попадания вредных химикатов. Однако несмотря на столь значительные преимущества, Ан-2М не нашел широкого применения, авиаторы не любили летать на этой машине. Дело заключалось в том, что Ан-2М управлял один пилот, а не два, как на Ан-2, что приводило к общему сокращению налета пилотов и, как следствие, зарплаты летного состава, несмотря на увеличение выработки. Кроме того, летчикам не нравились неудобства, связанные с посадкой в кабину через фонарь, а не через дверь, как прежде. Ан-2М построили в количестве 283 штук – в пятеро меньше, чем обычных Ан-2. В декабре 1985 г. вышел приказ Министерства гражданской авиации,

в котором говорилось: «В связи с окончанием 20-летнего срока эксплуатации и экономической нецелесообразностью применения самолетов Ан-2М завершить их эксплуатацию и списать имеющиеся машины». Работоспособные Ан-2М были отправлены на Кубу, в Венгрию, Болгарию и Югославию, а «Аэрофлот» остался при своих Ан-2.

Ан-2 был лучшим, но не единственным сельскохозяйственным самолетом в СССР в послевоенный период. В 50-е-60-е годы для опыления использовали специальные варианты легкомоторных самолетов Ан-14, Як-12 и вертолетов Ми-1, Ми-2, Ка-15. Последние в основном использовали для авиахимической обработки садов и виноградников в горных районах (как некогда автожир А-7 бис). Основным недостатком этих машин была их меньшая грузоподъемность и производительность по сравнению с бипланом Антонова (*рис. 6*).

Рис. 6. Ка-15 опрыскивает составом против насекомых виноградники в Абрау-Дюрсо

В справке Министерства сельского хозяйства говорится: «Основной объем авиационно-химических работ выполняется самолетами Ан-2, с помощью которых в 1965 г. было обработано 48,5 млн га сельскохозяйственных площадей или 88% от общей площади, обработанной авиацией. Самолетами Як-12 обработано 5,4 млн га (10% от общего объёма) и вертолетами – 1,1 млн га или 2% от общего объема авиационно-химических работ. <…> Такое соотношение объемов авиахимических работ по различным маркам самолетов и вертолетов сложилось из-за фактического наличия их в парке сельскохозяйственной авиации страны и стоимости проводимых ими сельскохозяйственных работ. Так, например, себестоимость обработки одного гектара при рассеивании минеральных удобрений (норма расхода – 150 кг/га) вертолетом Ми-1 равна 7,6 руб., а самолетом Ан-2М – 1,2 руб., на опылении (норма расхода – 25 кг/га) соответственно 1,6 руб. и 0,4 руб., опрыскивании (норма расхода – 200 л/га) – 9,15 и 1,47 руб.» [9].

В 1980 г. Ан-2 попытались осовременить, заменив поршневой мотор турбовинтовым двигателем ТВД-20. Благодаря новой силовой установке скорость по сравнению с Ан-2 возросла в 1,3 раза, коммерческая нагрузка – в 1,2, а производительность – в 1,5 раза. Испытания прошли успешно, но Министерство авиапромышленности и гражданской авиации самолетом не заинтересовалось. Там делали ставку на сельскохозяйственный М-15 с турбореактивным двигателем, который представлял собой комбинацию схемы биплан и турбореактивного двигателя и был единственным в мире самолетом такой конструкции. За странный вид и вой реактивного двигателя он получил прозвище «Бельфегор» по имени библейского демона Бельфегора.

Машину спроектировали бипланом, чтобы уменьшить рабочую и взлетную скорости. Баки с химикатами расположили на стойках между крыльями. Хвостовое оперение установили на балках, чтобы вынести его из завихренного потока воздуха за фюзеляжем и баками. Для распыления химикатов использовался сжатый воздух от двигателя, а не механический привод, как на Ан-2 (*рис. 7*).

Рис. 7. Самолеты М-15 в «Аэрофлоте»

Самолет получился неудачным. В документе 1976 г. сказано: «Министерство сельского хозяйства СССР и Госкомсельхозтехника СССР рассмотрели материалы государственных и эксплуатационных испытаний самолета М-15 производства ПНР и отмечают, что он по многим показателям не соответствует техническим требованиям.

Для самолета М-15 требуется взлетная полоса с искусственным покрытием не менее 750 м, а для Ан-2 она составляет 400 м. Невозможна эксплуатация самолета с грунтовых аэродромов в ранневесенний и осенний периоды при прочности грунта менее 5 кг /см^2. По этой причине даже в Краснодарском крае из 575 хозяйств только 33 хозяйства определены пригодными для работы самолета М-15, где взлетно-посадочные полосы соответствуют необходимым требованиям. Увеличение размеров взлетно-посадочных полос выведет из строя большое количество плодородных земель.

Дальность полета самолета на авиахимработах не превышает 300 км, а у Ан-2 она составляет 1300 км. Большой расход топлива, в два раза превышающий в сравнении с самолетом Ан-2, вызовет значительные осложнения по обслуживанию самолета в производственных условиях и потребует от хозяйств и предприятий Госкомсельхозтеники дополнительных затрат средств и рабочей силы, связанных с транспортировкой и хранением ГСМ.

Двухсторонняя схема размещения емкостей для химикатов относительно продольной оси самолета требует создания принципиально новых, более производительных загрузочных средств, а использование существующих погрузчиков значительно увеличивает простои самолета под загрузкой или вынуждает обслуживать его двумя погрузчиками, при значительном дефиците этих средств в сельском хозяйстве. Сельскохозяйственная аппаратура самолета не пригодна для внесения сухих минеральных удобрений из-за низкой эксплуатационной надежности и плохого качества рассева.

Высокая трудоемкость переоборудования сельскохозяйственной аппаратуры при переходе с одного вида авиахимических работ на другой, составляющая 42-57 человеко-часов вместо 3 предусмотренных техническими требованиями, вызовет значительные затруднения использованию самолёта в производственных условиях. Самолет не приспособлен для обработки участков, ограниченных препятствиями (лесополосы, линии электропередач и др.) и на склонах, особенно при выполнении работ с высоты полета 5-10 м. Оценка сравнительной экономической эффективности использования самолетов М-15 и Ан-2 проведена неправильно.

Показатели производительности самолета Ан-2 взяты по аппаратуре, снятой с производства, а по самолету М-15 приводятся данные для идеальных условий организации производства. В производственных условиях себестоимость обработки одного га самолетом М-15 на 18% выше, чем у Ан-2. Несоответствие конструкции самолета и сельскохозяйственной аппаратуры техническим требованиям по многим показателям приведут к резкому увеличению затрат хозяйств по его обслуживанию, снижению качества работ и значительному повышению себестоимости производства сельскохозяйственной продукции. Учитывая изложенное, Минсельхоз СССР и Госсельхозтехника СССР считают нецелесообразным принимать решение о внедрении самолета М-15 в сельскохозяйственное производство» [10].

Но выпуск М-15 уже шел, и около 150 из 175 построенных по заказу СССР в Польше самолетов попало в СССР. Они использовались до 1983 г., после чего были выведены из эксплуатации. Особое место в авиации агропромышленного комплекса занимает самолет Ту-134СХ. Это был специальный вариант реактивного пассажирского авиалайнера Ту-134, предназначенный для мониторинга больших сельскохозяйственных площадей. Средств для опыления на борту не было, вместо этого самолет был снабжен разнообразной фотоаппаратурой для фиксации состояния посевов, на борту имелась фотолаборатория.

Выпуск Ту-134СХ начался на Харьковском авиазаводе в 1983 г., там построили 10 машин, которые передали в Воронежский авиаотряд. Их фотосъемочная жизнь оказалась недолгой – слишком дорогой была эксплуатация. Ходили также слухи, что самолет и выполняемые им работы пришлись не по вкусу руководителям совхозов и чиновникам Министерства сельского хозяйства – благодаря «СХ» стали выявляться большие различия между представляемыми в правительство данными о площадях посевов, их состоянии и т. п. с фактическим состоянием дел (см. http:/sipililo.livejournal.com/19862.html http). С 1990-х гг. Ту-134СХ использовали как «спецсамолеты» для бизнесменов и крупных чиновников.

Выводы. После многих лет успешного использования авиации в агрохозяйственном комплексе в Советском Союзе начался экономический кризис. Применение сельхозавиации год от года снижалось – у лишившихся господдержки аграриев не хватало денег на оплату подорожавших удобрений и авиауслуг (*рис. 8*).

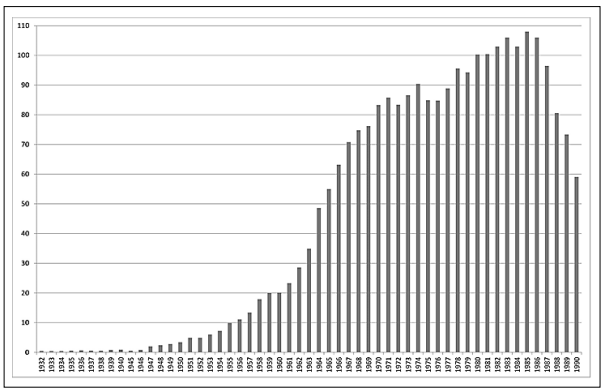


Рис. 8. Показатели работы сельскохозяйственной авиации, млн га

Кроме того, сравнительно крупные Ан-2 и М-15 мало подходили для обслуживания заменивших колхозы и совхозы небольших фермерских хозяйств. Нужен был легкий самолет типа У-2, но их у нас уже не выпускали.

Библиографический список

1. Анощенко Н.Д. 50 лет со времени проведения первых в мире опытов по применению авиации в сельском хозяйстве // Из истории авиации и космонавтики. 1972. Вып. 14. С. 69-70.

2. Водопьянов М.В. Небо начинается с земли. М.: Современник. 1976. 413 с.

3. Российский государственный архив экономики (РГАЭ). Ф. 9527. Оп. 1. Д. 566. Л. 292-293.

4. Правда. 19 июня 1941 г. С. 6.

5. Анисенко В. Рождение легенды // Авиация и время. 2007. N8(93). С. 5, 10.

6. РГАЭ. Ф. 9527. Оп. 2. Д. 805. Л. 20.

7. Захаров П. Аэросев леса // Гражданская авиация. 1956. N4. С. 30.

8. Гражданская авиация. 1956. N7. С. 21.

9. РГАЭ. Ф. 55. Оп. 1. Д. 226. Л. 14-15.

10. РГАЭ. Ф. 55. Оп. 1. Д. 3846. Л. 26-27.

References

1. Anoshchenko N.D. 50 let so vremeni provedenia pervyh v mire opytov po primeneniu aviatsii v selskom hozaistve [50 years from the first aviation tests for agriculture]. Iz istorii aviatsii i kosmonavtiki. 1972. Iss. 14. 69-70 (In Russian).

2. Vodopjanov M.V. Nebo nachinaetsia s zemli [Sky is beginning an the earth]. Moscow: Sovremennik. 1976. 413 (In Russian).

3. Rossijskij gosudarstvennyi arhiv ekonomiki (RGAE) [Russian state archive of economic]. F. 9527. L. 1. C. 566. P. 292-293 (In Russian).

4. Pravda. 1941. June 19. 6 (In Russian).

5. Anisenko V. Pozhdenie legendy [Birth of the legend]. Aviatsia i vremia. 2007. N8(93). 5, 10 (In Russian).

6. RGAE. F. 9527. L. 2. C. 805. P. 20 (In Russian).

7. Zakharov P. Aerosev lesa [Aerial sowing of forests]. Grazhdanskaia aviatsia. 1956. N4. 30 (In Russian).

8. Grazhdanskaia aviatsia. 1956. N7. 21 (In Russian).

9. RGAE. F. 55. L. 1. C. 226. P. 14-15 (In Russian).

10. RGAE. F. 55. L. 1. C. 3846. P. 26-27 (In Russian).

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
The author have read and approved the final manuscript.

CC BY
DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-177-185 УДК 631.311

Реализация идей В.П. Горячкина в решении проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов

Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник;
Елена Сергеевна Курбанова, руководитель отдела образования, e-mail: kurbanova.es@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Труды академика В.П. Горячкина, в том числе созданная им «Земледельческая механика», послужили фундаментом и основой широкого развития исследований по решению проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов, их научным и методическим ядром. Одной из его важнейших научных разработок стала теория масс и скоростей, которая позволила коренным образом изменить направление развития энергетических и технологических средств для обработки почвы. (Цель исследования) Проанализировать реализацию идей В.П. Горячкина в решении одной из крупнейших научно-технических проблем – проблеме повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. (Материалы и методы) Провели анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Использовали в качестве объектов исследования оригинальные работы отечественных авторов: монографии, отчеты научно-исследовательских учреждений, научные журналы, материалы конференций. (Результаты и обсуждение) Выявили, что успешное внедрение двух поколений скоростной техники способствовало постановке вопроса о дальнейшем повышении скорости работы машинно-тракторных агрегатов. Определили оптимальные параметры перспективной скоростной сельскохозяйственной техники, режимы ее работы, рациональные диапазоны повышения рабочих скоростей, наметили пути ее конструирования и использования, убедительно доказали эффективность и техническую возможность создания, внедрения и рационального использования скоростной техники. Отметили, что в технической политике в области тракторного и сельскохозяйственного машиностроения был совершен решительный поворот в сторону создания скоростной техники, обеспечивающей существенное повышение производительности машинно-тракторных агрегатов. (Выводы) Успех крупных научно-технических проектов базируется на преемственности научных разработок и технических достижений предшественников, их реализации и развитии с учетом последних современных достижений.*

Ключевые слова: *повышение рабочих скоростей, теория масс и скоростей, машинно-тракторные агрегаты, сельскохозяйственное производство, увеличение сменной производительности, скоростная техника.*

Для цитирования: *Ценч Ю.С., Курбанова Е.С. Реализация идей В.П. Горячкина в решении проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N2(151). С. 177-185. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-177-185.UWGOWO.*

Implementation of V.P. Goryachkin's ideas in increasing the working speeds of machine-tractor units

Yulia S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher;
Elena S. Kurbanova, head of the education department,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The works of academician V.P. Goryachkin, including the "Agricultural Mechanics" created by him, served as the foundation and basis for the broad development of research to solve the problem of increasing the working speeds of machine-tractor units, their scientific and methodological core. One of his most important scientific developments was the theory of masses and velocities, which made it possible to radically change the direction of development of energy and technological means for tillage. (Research purpose) The research purpose is analyzing the implementation of Goryachkin's ideas in solving one of the largest scientific and technical problems, the problem of increasing the working speeds of machine-tractor units. (Materials and methods) Conducted an analysis of literary sources by applying the historical-analytical method. Original works of Russian authors were used as objects of research: monographs, reports of research institutions, scientific journals, conference materials. (Results and discussion) It was revealed that the successful introduction of two generations of high-speed equipment gave reason to raise the question of further increasing the speed of machine-tractor units. We determined the optimal parameters of promising high-speed agricultural machinery, its operating modes, rational ranges of increasing operating speeds, outlined the ways of its design and use, convincingly proved the effectiveness and technical feasibility of creating, implementing and rational use of high-speed machinery. It was noted that in the technical policy in the field of tractor and agricultural engineering, a decisive turn was made towards the creation of high-speed equipment that provides a significant increase in the productivity of machine-tractor units. (Conclusions) The success of major scientific and technical projects is based on the continuity of scientific developments and technical achievements of their predecessors, their implementation and development taking into account the latest modern achievements.*

Keywords: *increase of working speeds, theory of masses and veloscities, machine-tractor units, agricultural production, increase of shift productivity, high-speed machinery.*

For citation: *Tsench Yu.S., Kurbanova E.S. Realizaciya idej V.P. Goryachkina v reshenii problemy povysheniya rabochih skorostej mashinno-traktornyh agregatov [Implementation of V.P. Goryachkin's ideas in increasing the working speeds of machine-tractor units]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N2(151). 177-185 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-2-177-185. UWGOWO.*

Введение. Труды академика В.П. Горячкина, в том числе созданная им «Земледельческая механика», послужили фундаментом и основой широкого развития исследований по решению проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов (МТА), их научным и методическим ядром.

В.П. Горячкин – основоположник научного обеспечения и практического осуществления прогресса механизации сельскохозяйственного производства нашей страны. Под руководством В.П. Горячкина в Москве начал работать Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ). В.П. Горячкин многое сделал для создания и становления Всесоюзного научно-исследовательского институ-

та механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ). В своих трудах он уделял большое внимание рациональному проектированию механизации процессов сельскохозяйственного производства, эффективности техники, оптимальному построению сельскохозяйственных машин. В.П. Горячкин писал, что «основная задача теории массы сельскохозяйственных машин и орудий – определить достаточную и необходимую величину массы рабочих органов орудия и двигателя с целью вместить возможно больше механической энергии в единицу массы. А так как механическая энергия выражается произведением двух величин – массы и скорости, то теория массы неразрывно связана с теорией скорости» [1]. В статье «Выбор рабочих скоростей для сельскохозяйственных машин и орудий» указано, что во многих случаях величина рабочей скорости кажется безразличной. В общем случае по различным соображениям представляется заманчивым для механических построений пользоваться малыми массами и большими скоростями. При больших скоростях можно ожидать увеличения производительности, улучшения качества работы, легкости конструкции вследствие более значительного насыщения материи энергией, равномерности движения, так как изменить быстрое движение всегда труднее, чем медленное [1].

Таким образом, теория масс и скоростей представляет собой одну из важнейших научных разработок, которая позволила коренным образом изменить направления развития энергетических и технологических средств для обработки почвы. Были разработаны теоретические основы технологических систем и физико-механические обоснования принципиально новых машин для работы на высоких скоростных режимах. Этому способствовали глубокие агротехнические исследования, проведенные профессорами П.А. Некрасовым и П.Е. Никифоровым, которые показали, что при работе на скоростях до 20 км/ч никаких агротехнических противопоказаний повышению скорости не существует. При высоких скоростях обработки почвы ее плодородие и урожайность полевых культур не снижаются. Необходимо определить лишь технические возможности и экономическую целесообразность работы МТА на высоких скоростях.

Цель исследования – проанализировать реализацию идей В.П. Горячкина в решении одной из крупнейших научно-технических проблем – проблеме повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов.

Материалы и методы. В исследовании был проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследований – оригинальные работы отечественных авторов: монографии, отчеты научно-исследовательских учреждений, научные журналы, материалы конференций.

Результаты и обсуждение. Идея повышения рабочих скоростей МТА, зародившаяся еще в начальный период широкой механизации сельскохозяйственного производства в нашей стране и обоснованная академиком В.П. Горячкиным в его трудах по земледельческой механике, нашла свое научное и практическое решение благодаря проведению по инициативе ВИМ комплексных исследований под руководством академика ВАСХНИЛ В.Н. Болтинского [2].

Несмотря на то, что на целесообразность повышения рабочих скоростей МТА указывал академик В.П. Горячкин, среди практиков и научной общественности существовал определенный скептицизм. Однако анализ общеизвестной формулы:

$$W = 0,1Bvt,$$

где W – производительность МТА, га/ч;

B – ширина захвата, м;

v – скорость движения, км/ч; t – коэффициент использования времени

смены, показал, что W в общем виде при постоянном t пропорциональна мощности, а увеличение последней с целью повышения W возможно за счет повышения v для сложившейся ширины захвата МТА, ограниченной ландшафтными условиями и землеустройством. При этом необходимо, чтобы тяговый КПД скоростного трактора остался на уровне заменяемого типоразмера, удельное сопротивление не превышало ранее достигнутых значений, а коэффициент t существенно не изменялся.

Отстаивая эти предпосылки и понимая сложность разрабатываемой проблемы, В.Н. Болтинский четко выделял факторы, препятствующие внедрению скоростной техники. Им была разработана схема, в которой систематизированы эти факторы и намечены основные направления научно-исследовательских работ. В реализации данной схемы участвовали все ведущие инженерные научно-исследовательские учреждения сельского хозяйства и конструкторские организации отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. В.Н. Болтинский считал, что необходимо одновременно исследовать и создавать трактор и сельскохозяйственное орудие к нему [2, 3].

Для реализации теории масс и скоростей, предложенной В.П. Горячкиным, В.Н. Болтинский предложил разработать специальные энергетические средства и создать технологические комплексы машин, которые на высоких скоростях агрегата выполняли бы агротехнические требования при тех же энергетических затратах, что и существующие машины на свойственных им низких скоростях [4]. Это стало основным принципом повышения скоростей МТА. Коллективами ВИМа и ВИСХОМа (А.Я. Поляк, П.С. Никифоров, П.Н. Бурченко, А.Н. Иванов, И.М. Панов, В.Г. Кирюхин, Н.М. Орлов, Н.М. Антышев) были разработаны научные основы создания скоростных тракторов, комплексных машин и агрегатов для обработки почвы, посева и других операций [5].

В.П. Горячкин писал, что с распространением тракторов вопрос о скорости работы настойчиво выдвигается жизнью, так как при работе с тракторами нет основания придерживаться скорости, одинаковой или близкой к скорости лошади, но до сих пор остается недостаточно разработанным ни теоретически, ни практически. Опираться в этом отношении на указания общей техники невозможно как ввиду того, что общая техника выработала опытным путем только для себя некоторые данные для скорости резания металлов, теоретически же вопрос не разрешен, несмотря на трату громадных средств и обилие опытов. Поэтому приходится решать эту задачу самостоятельно. Увеличение производительности МТА и труда механизаторов, интенсификация использования ресурсов служат постоянным требованием сельскохозяйственного производства и доминантой технического прогресса.

Проблема повышения рабочих скоростей была связана со всеми основными процессами, определяющими механизацию полеводства. Поэтому вопросы изучения факторов, противодействующих повышению рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов, потребовали широкого проведения исследований по различным направлениям с привлечением специалистов из других отраслей науки. В частности, получили широкое развитие исследования по влиянию повышения рабочих скоростей на условия труда и здоровье механизаторов, на безопасность труда, надежность техники, износостойкость узлов и деталей, надежность регулировок, организацию использования и обслуживания техники, принципы комплектования хозяйств. Ведущее место заняли вопросы агротехники [6]. Работы были выполнены под организационным и методическим руководством и при ведущем участии ВИМа как последовательного и результативного координатора. В разработке участвовали более 30 организаций, в числе которых были ведущие НИИ,

КБ и заводы, а также специалисты более 100 научных и учебных организаций. Исследования по проблеме вели многие коллективы и отдельные ученые, специалисты промышленности и сельского хозяйства под единым организационным и методическим руководством и при участии ВИМа. На симпозиумах, конференциях и семинарах сформировалась научная школа, были защищены десятки кандидатских и докторских диссертаций [7].

На основе системного подхода охвачены были все аспекты проблемы – от научного поиска до организации широкого внедрения принципиально новой техники для выполнения технологий, обуславливающих эффективное использование. Значение повышения рабочих скоростей МТА неоднократно в течение 1959-1975 гг. подчеркивалось в документах таких определяющих техническую политику в стране структур, как ЦК КПСС, Совет Министров СССР, Госплан СССР, Всесоюзное объединение «Сельхозтехника», ВАСХНИЛ, а также находило отражение в центральной общественно-политехнической и научно-технической печати. Исследования по повышению рабочих скоростей Государственным комитетом по науке и технике СССР в период 1963-1983 гг. постоянно относились к разряду работ по важнейшим научно-техническим проблемам. Совместно работавшие научные коллективы, проведя глубокие исследования, создав лабораторные и полевые установки, построив макетные образцы техники и доведя исследования до широкого опытного внедрения, разработали и реализовали на практике научные основы повышения рабочих скоростей МТА [8].

В 1976 г. основные результаты проведенной работы были по достоинству вознаграждены Государственной премией СССР. В составе авторского коллектива звания лауреатов были присвоены: работникам ВНИИМСХ академику ВАСХНИЛ, бывшему заведующему кафедрой Московского института инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина, руководителю работы Василию Николаевичу Болтинскому; руководителям лабораторий: кандидату технических наук Александру Яковлевичу Поляку, кандидату технических наук Виктору Андреевичу Дегтяреву; заместителю руководителя лаборатории Айзику Давидовичу Щупаку; заместителю руководителя отдела Северо-Кавказского филиала ВИМ Анатолию Ивановичу Мариненко; кандидату технических наук заведующему отделом Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения имени В.П. Горячкина Николаю Матвеевичу Орлову; кандидату технических наук, бывшему старшему научному сотруднику Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства Наталье Федоровне Дроновой; кандидату технических наук главному конструктору Волгоградского тракторного завода имени Ф.Э. Дзержинского Шарову Михаилу Александровичу; главному конструктору Харьковского тракторного завода имени С. Орджоникидзе Борису Павловичу Кашубе; генеральному конструктору Минского тракторного завода имени В.И. Ленина Ивану Павловичу Ксеневичу (в настоящее время – научный руководитель отдела ВИМ); кандидату технических наук главному инженеру Кубанского научно-исследовательского института по испытанию тракторов и сельскохозяйственных машин Геннадию Яковлевичу Любашину.

Отметим значительные и впечатляющие результаты их работы:

- первый этап повышения рабочих скоростей: 5-9 км/ч, 1960-1966 гг. – среднее увеличение сменной производительности МТА на 7-12%, уменьшение прямых затрат на обработку 1 га до 23%;

- второй этап повышения рабочих скоростей: 9-15 км/ч, 1971-1978 гг. – повышение по сравнению со скоростями 5-9 км/ч производительности по всем

видам работ на 24-57% при экономии затрат на обработку 1 га до 25%. Успешное внедрение двух поколений скоростной техники дало основание поставить вопрос о дальнейшем повышении скорости работы МТА. На этой базе стало возможным определить оптимальные параметры перспективной скоростной сельскохозяйственной техники, режимы ее работы, рациональные диапазоны повышения рабочих скоростей, наметить пути ее конструирования и использования, убедительно доказать эффективность и техническую возможность создания, внедрения и эффективного использования скоростной техники. Был совершен решительный поворот в технической политике в области тракторного и сельскохозяйственного машиностроения в сторону создания скоростной техники, обеспечивающей существенное повышение производительности МТА [9, 10].

Теоретически разработано и экспериментально подтверждено, что с позиций динамики трактора нет препятствий повышению рабочих скоростей при сохранении экономичности примерно на исходном уровне. Исследованиями по созданию скоростных рабочих органов и сельскохозяйственных машин показано, что повышению скорости работы не препятствует достижение требуемого агрономического качества. В ходе исследований и создания конструкций решены вопросы обеспечения необходимых условий труда и безопасности трактористов и достижения требуемой надежности и сроков службы [11].

Аналитические и экспериментальные исследования позволили рекомендовать для третьего поколения скоростной техники диапазон 14-24 км/ч, что влекло за собой повышение производительности МТА порядка 29-50% и снижение затрат труда на 22-33% по отношению к скоростным агрегатам второго поколения (9-15 км/ч). При разработках по оптимизации показателей третьего поколения скоростной техники использованы новые знания по динамике трактора, полученные в исследованиях по проблеме и проверенные на макетных образцах высокой энергонасыщенности, результаты исследований влияния повышения рабочей скорости на тяговые сопротивления сельскохозяйственных машин, разработки по новым схемам агрегатов, способам агрегатирования и движения на поле, методам организации использования техники. На основании данных материалов условно конструировались МТА для различных уровней повышения скорости и проектировались их показатели с учетом возможного прогресса техники. Представляется целесообразным, опираясь на опыт исследований, накопленный при решении проблемы, приступить к созданию макетов и проведению исследований по созданию и реализации третьего поколения скоростной техники, одновременно проводя работу по расширению использования скоростной техники второго поколения. Результативной разработкой этого проекта убедительно доказано, что повышение скорости работы МТА представляет собой генеральное направление прогресса техники в области механизации полеводства.

А.Я. Поляк так писал о своей работе: «Являясь основой интенсификации работы техники, повышение скорости становится магистральным направлением технического прогресса в механизации полеводства. Подобной общей основой повышения производительности труда в растениеводстве в будущем может стать только комплексная автоматизация МТА, но и в этом случае повышение скорости в сочетании с автоматизацией будет обеспечивать общую основу интенсификации использования технических средств» [8].

В.Н. Болтинский в своей статье «Прогноз-фантазия о качествах, которыми будет обладать новейшая сельскохозяйственная техника для полеводства» на основе многолетнего глубокого анализа и обобщения материалов исследований, своего плодотворного опыта и размышлений сделал попытку заглянуть

в будущее развития тракторной энергетики [12]. В описании контуров новейшей сельскохозяйственной техники В.Н. Болтинский установил два главных направления в проведении всех научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при решении комплексной проблемы по созданию новейшей сельскохозяйственной техники. Первое направление базируется на самых последних достижениях физики: использовании атомной энергии, широком применении лазерной техники, использовании сверхвысокой проводимости материалов и т. д. Создание новейшей сельскохозяйственной техники требует решения многих сложнейших задач с привлечением научно-исследовательских институтов физического профиля, с участием специалистов по сельскохозяйственной технике, ее конструированию, производству и использованию (постановка задачи, требования сельского хозяйства, консультации и т. д.). Второе направление основывается на уже известных технических решениях, но усовершенствованных в соответствии с последними достижениями науки и используемых в новых комбинациях. Работа по этому направлению, начиная с создания математической модели и параллельно с этим макетов в металле, может быть начата институтами системы сельского хозяйства, промышленности и техники в самые короткие сроки. Два направления проблемы разработки сельхозтехники должны оказать влияние на организационную сторону выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Выводы. Научные идеи академика В.П. Горячкина по земледельческой механике представляют собой основу развития механизации сельского хозяйства не только в XX в., но и в настоящее время. Фундаментальные направления науки «Земледельческая механика» определяют стратегию развития сельскохозяйственной техники в XXI в. Успех крупных научно-технических проектов строится на преемственности научных разработок и технических достижений предшественников, их реализации и развитии с учетом последних современных достижений.

Для реализации теории масс и скоростей, разработанной В.П. Горячкиным, В.Н. Болтинский организовал и координировал масштабную работу по решению проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. Ее результатом было развитие теории трактора, становление творческих коллективов заводских КБ (особенно служб надежности), внедрение в серийное производство и оснащение сельского хозяйства техникой нового поколения. По общему признанию специалистов, это позволило повысить производительность МТА в 1,5-2 раза.

История становления и развития отечественного тракторостроения, достижения инженерной и научной мысли служат залогом успешного решения жизненно важной задачи быстрого насыщения тракторного парка России прогрессивными перспективными тракторами, соответствующими современным условиям и конкурентоспособными на внешнем рынке.

Библиографический список

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3 т. [К 100-летию со дня рождения. 1868-1968] / под ред. действ. чл. Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина проф. д-ра с.-х. наук Н.Д. Лучинского. 2-е изд. М.: Колос. 1968.

2. Антышев Н.М. О методологии исследований В.Н. Болтинского // Тракторы и сельскохозяйственные машины. N1. 2004. С. 7.

3. Болтинский В.Н. Повышение рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов и задачи науки // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1959. N6.

4. Повышение рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов / ред. колле-

гия: В.Н. Болтинский и др. М.: Колос. 1976. 319 с.

5. Ценч Ю.С., Курбанова Е.С. Приоритеты развития сельскохозяйственной техники СССР в период с 1950 по 1970 год // Технический сервис машин. № 4 (149), 2022. С. 158-170.

6. Жалнин Э.В. Постулаты В.П. Горячкина и их дальнейшее развитие // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2008. N2. С. 15-21.

7. Ксеневич И.П., Поляк А.Я., Шевцов В.Г. Тракторы – история, состояние и перспективы развития // Тракторы и сельскохозяйственный транспорт. М.: ВИМ. 2000. 216 с.

8. Поляк А.Я. Повышение рабочих скоростей движения машинно-тракторных агрегатов. Развитие исследований. Основные результаты // Труды ВИМ. 2000. Т. 135.

9. Поляк А.Я. Реализация и развитие идей В.П. Горячкина в решении проблемы повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов // Труды ВИМ. 2001. Т.137.

10. Поляк А.Я. Повышение рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов // Труды ВИМ. 2004. Т. 136.

11. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ВИМ. 2021. 156 с.

12. Болтинский В.Н. Прогноз-фантазия о качествах, которыми будет обладать новейшая сельскохозяйственная техника для полеводства // Труды ВИМ. 1978. Т. 81. С. 149-176.

References

1. Goryachkin V.P. Sobraniye sochineniy: v 3 t. [K 100-letiyu so dnya rozhdeniya. 1868-1968] Collected works: in 3 volumes [To the 100th anniversary of his birth. 1868-1968] / Ed. By member of all-Union academy of agricultural sciences named after V. I. Lenin, prof., Dr.Sc. N.D. Luchinskiy. 2nd ed. Moscow: Kolos. 1968 (In Russian).

2. Antyshev N.M. O metodologii issledovanij V.N. Boltinskogo [About V.N. Boltinsky's research methodology]. Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. N1. 2004. C. 7.

3. Boltinskiy V.N. Povysheniye rabochikh skorostey mashinno-traktornykh agregatov i zadachi nauki [Increasing the working speeds of machine-tractor units and the tasks of science]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaystva. 1959. N6 (In Russian).

4. Povysheniye rabochikh skorostey mashinno-traktornykh agregatov [Increasing the working speeds of machine-tractor units] / Ed. board: V.N. Boltinskiy et al. Moscow: Kolos. 1976. 319 (In Russian).

5. Tsench Yu.S., Kurbanova E.S. Prioritety razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki SSSR v period s 1950 po 1970 god [Priorities for the development of agricultural machinery in the USSR in the period from 1950 to 1970]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 158-170 (In Russian).

6. Zhalnin E.V. Postulaty V.P. Goryachkina i ikh dal'neysheye razvitiye [V.P. Goryachkin's postulates and their further development]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina. 2008. N2. 15-21 (In Russian).

7. Ksenevich I.P., Polyak A.Ya., Shevtsov V.G. Traktory – istoriya, sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Tractors – history, state and prospects of development]. Traktory i sel'skokhozyaystvennyy transport. Moscow: VIM. 2000. 216 (In Russian).

8. Polyak A.Ya. Povysheniye rabochikh skorostey dvizheniya mashinno-traktornykh agregatov. Razvitiye issledovaniy. Osnovnyye rezul'taty [Increasing the working speeds of machine-tractor units. Development of research. Main results]. Trudy VIM. 2000. Vol. 135 (In Russian).

9. Polyak A.Ya. Realizatsiya i razvitiye idey V.P. Goryachkina v reshenii problemy

povysheniya rabochikh skorostey mashinno-traktornykh agregatov [Implementation and development of V.P. Goryachkin's ideas in solving the problem of increasing the working speeds of machine-tractor units]. Trudy VIM. 2001. 137 (In Russian).

10. Polyak A.Ya. Povysheniye rabochikh skorostey mashinno-traktornykh agregatov [Increasing the working speeds of machine-tractor units]. Trudy VIM. 2004. Vol. 136 (In Russian).

11. Tsench Yu.S. Stanovleniye i razvitiye nauchno-tekhnicheskogo i kadrovogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Formation and development of scientific, technical and personnel support of the agro-industrial complex of Russia]. Moscow: VIM. 2021. 156 (In Russian).

12. Boltinskiy V.N. Prognoz-fantaziya o kachestvakh, kotorymi budet obladat' noveyshaya sel'skokhozyaystvennaya tekhnika dlya polevodstva [The forecast and fantasy about the qualities that the latest agricultural machinery for field cultivation will possess]. Trudy VIM. 1978. Vol. 81. 149-176 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Ценч Ю.С. – научное руководство, доработка текста;
Курбанова Е.С. – анализ литературных источников,
подготовка текста.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Tsench Yu.S. – general guidance, revision of the manuscript;
Kurbanova E.S. – analysis of literary data, preparation of the manuscript.
analysis of the subject area and the formation of conclusions.
All the authors have read and approved the final manuscript.