

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

№1 (150) 2023

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

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, ведущий 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 26.12.2023 г., Формат 60 х 84/8. Объем 17,25 п.л., Тираж 100 экз., заказ 957. Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2023

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

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» (FS-BSI 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:

Lvalvakin Valentin Pavlovich

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

Solovvev Sergev 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.), Leading 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

Utenivazov 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. Приказ Минобрнауки РФ № 118 от 24.02.2021 г.

Журнал включен в Российский индекс цитирования (*PИНЦ*) 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 исследования, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

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

На английский язык следует перевести:

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

Машинный перевод недопустим!

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

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

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

Адрес для отправления материалов:

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

Баганов Н.А., Алексеенко В.А., Сидельников Д.А., Исаев Н.И., Радченко А.Е.	
Диагностирование двигателя по количественному и качественному	
показателю прорыва картерных газов	13
Катаев Ю.В.	
Диагностирование технического состояния мобильных энергетических	
средств с использованием цифровых технологий	21
Самиков Р.Ф., Нигматуллин Ш.Ф., Козеев А.А., Разяпов М.М.	
Исследование способа рекуперации тепловой энергии	
отработавших газов ДВС	29
Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А.	
Научно-практическое обоснование организации краткосрочной	
аренды (проката) сельскохозяйственной техники	39
Кравченко И.Н., Кулакова Е.В., Алибекова И.В., Величко Ю.В., Тойгамбаев С.К.	
Методы оценки условий и безопасности труда в организациях	48
Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В., Доронина Н.П., Цибин Н.М.	
Расчет целесообразности и эффективности перевода дизельных энергосредств	
в газодизельный режим работы	57

восстановление и упрочнение деталей

Ипатов А.Г., Харанжевский Е.В., Волков К.Г., Шмыков С.Н.
Применение металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных
технологиях (на примере клапана ДВС)
Сайфуллин Р.Н., Нафиков М.З., Загиров И.И.
Покрытия, полученные электроконтактной приваркой
металлических порошков
Михальченков А.М., Феськов А.С., Кожухова Н.Ю.
Восстановление ножей лемехов компании «Лемкен» методом
термоупрочненных компенсирующих элементов
Лялякин В.П., Криворотов В.И., Луканин Б.Е., Муратов Р.Ч., Толкачёва А.В.
Применение метода коэрцитиметрии для оценки остаточных напряжений
в плоских ножах, упрочненных ТВЧ-борированием
Радайкина Е.А., Котин А.В.
Исследование триботехнических свойств полиамидных композитов 103
Иванов В.И., Гордиенко П.С., Коневцов Л.А., Панин Е.С., Карабцов А.А.
Исследование формирования легированного поверхностного слоя
при ЭИЛ стали 35 рением
Кузнецов И.С., Титов Н.В., Логачев В.Н., Чернышов Н.С.
Исследование износного состояния деталей героллерного
гидравлического мотора OMR 100
Попов Н.А., Чавдаров А.В.
Исследование свойств комбинированного покрытия для восстановления
изношенных гильз цилиндров
ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ
Смык А.Ф., Кузьмина Н.Б
Вклад Д.И. Журавского и С.В. Кербедза в развитие конструкций и методов
расчета мостов в России
Карасев А.В.
Экскурс в историю тракторостроения и тракторизации сельского хозяйства 155
Смык А.Ф., Артамонов А.А.
Вклад П.Л. Чебышёва в развитие практической механики в России
Ценч Ю.С., Миронова А.В.
Эволюция развития землепользования почвенными угодьями
(отечественный и зарубежный опыт)
Годлевская Е.В., Ценч Ю.С.
Развитие механизации сельского хозяйства Южного Урала: вклад
научной школы Е.М. Харитончика

CONTENTS

MAINTENANCE. REPAIR

Baganov N.A., Alekseyenko V.A., Sidel'nikov D.A., Isayev N.I., Radchenko A.E.	
Engine diagnostics based on quantitative and qualitative indicators	
of crankcase gas breakthrough	13
Katayev Yu.V.	
Diagnosing the technical condition of mobile power equipment using	
digital technologies	21
Samikov R.F., Nigmatullin Sh.F., Kozeyev A.A., Razyapov M.M.	
The method of thermal energy recovery of exhaust gases of	
internal combustion engines	29
Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A.	
Scientific and practical justification of the short-term lease	
of agricultural machinery	39
Kravchenko I.N., Kulakova E.V., Alibekova I.V., Velichko Yu.V., Toygambaev S.K.	
Methods for assessing working conditions and in organizations	48
Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V., Doronina N.P., Tsibin N.M.	
Efficiency of conversion of diesel power means to gas-diesel operation mode	57

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS

Ipatov A.G., Kharanzhevskiy E.V., Volkov K.G., Shmykov S.N.
Application of metal-matrix composites in repair and recovery
technologies (on the example of ICE valve)
Sayfullin R.N., Nafikov M.Z., Zagirov I.I.
Coatings made by electric contact welding of metal powders
Mikhal'chenkov A.M., Fes'kov A.S., Kozhukhova N.Yu.
Restoration of "Lemken" ploughshare knives by the method of heat
strengthened compensating elements
Lyalyakin V.P., Krivorotov V.I., Lukanin B.E., Muratov R.Ch., Tolkacheva A.V.
Application of coercytimetry method for evaluation of residual
stresses in flat knives
Radaykina E.A., Kotin A.V.
Study of tribotechnical properties of polyamide composites
Ivanov V.I., Gordiyenko P.S., Konevtsov L.A., Panin E.S., Karabtsov A.A.
Building of alloyed surface layer during electric spark treatment
of steel 35 by the rhenium.
Kuznetsov I.S., Titov N.V., Logachev V.N., Chernyshov N.S.
The wear of the OMR 100 geroller hydraulic motor parts
Popov N.A., Chavdarov A.V.
Properties of the combined coating for the restoration of worn cylinder liners
THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Smyk A.F., Kuz'mina N.B.
Contribution of D.I. Zhuravsky and S.V. Kerbedz to the development of bridge
designs and calculation methods in Russia
Karasev A.V.
Excursion to the history of tractor building and the introduction
of tractors in agriculture
Smyk A.F., Artamonov A.A.
Contribution of P.L. Chebyshev to the development of practical
mechanics in Russia
Tsench Yu.S., Mironova A.V.
Evolution of the soil land use (domestic and foreign experience)
Godlevskaya E.V., Tsench Yu.S.
Mechanization of agriculture in the Southern Urals: scientific
school of E.M. Kharitonchik.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ И КАЧЕСТВЕННОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ПРОРЫВА КАРТЕРНЫХ ГАЗОВ

Николай Анатольевич Баганов, кандидат технических наук, доцент, e-mail: baganov75@mail.ru; Виталий Алексеевич Алексеенко, кандидат технических наук, доцент; Дмитрий Алексеевич Сидельников, кандидат технических наук, доцент; Никита Игоревич Исаев, студент-исследователь; Артём Евгеньевич Радченко, студент-исследователь Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Реферат. В процессе эксплуатации двигателей тракторов и комбайнов их технико-экономические показатели постоянно меняются. Данный факт приводит к изменению состава топливовоздушной смеси и, соответственно, к изменению количественного и качественного состава компонентов в камере сгорания цилиндра двигателя и в его картере. В итоге увеличивается износ двигателя и его систем, поэтому диагностирование и своевременная постановка диагноза процессов, протекающих в камере сгорания, представляется важной и актуальной. (Цель исследования) Теоретически определить влияние состава картерных газов на коэффициент избытка воздуха и возможные взаимосвязи с показателями токсичности отработавших газов. (Материалы и методы) Отметили, что картерные газы состоят из горючей смеси, а также продуктов полного и частичного сгорания, появление неисправностей изменят коэффициент избытка воздуха непосредственно в камере сгорания цилиндра двигателя, тем самым меняя состав картерных и отработавших газов. (Результаты и обсуждение) Указали, что поток прорвавшихся газов через неплотности иилиндро-поршневой группы попадает непосредственно во впускной коллектор, меняя состав рабочей смеси в камере сгорания и состав картерных и отработавших газов. Эти обстоятельства приводят к изменению вязкости масла и износу основных механизмов двигателя, снижающим его ресурс. (Выводы) Своевременное определение наличия в картерных газах углеводородов в виде паров топлива, разжижающих моторное масло, позволит предотвратить вспенивание масла и появление эмульсии, затрудняющей поступление масла к трущимся поверхностям. Проявление симптомов и диагностических признаков даст возможность оценивать не только техническое состояние двигателя, но и возможное наличие других неисправностей в его системах и механизмах.

Ключевые слова: картерные газы, диагностирование, цилиндро-поршневая группа, расход газов, токсичность, канцерогенные вещества, неисправности.

Для цитирования: Баганов Н.А., Алексеенко В.А., Сидельников Д.А., Исаев Н.И., Радченко А.Е. Диагностирование двигателя по количественному и качественному показателю прорыва картерных газов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 13-20. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-13-20. NSURRD.

ENGINE DIAGNOSTICS BASED ON QUANTITATIVE AND QUALITATIVE INDICATORS OF CRANKCASE GAS BREAKTHROUGH

Nikolay A. Baganov, Ph.D.(Eng.), associate professor; Vitaliy A. Alekseenko, Ph.D.(Eng.), associate professor; Dmitriy A. Sidelnikov, Ph.D.(Eng.), associate professor; Nikita I. Isaev, student-researcher; Artem E. Radchenko, student-researcher Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract. During the operation of tractor and combine engines, technical and economic indicators are constantly changing. This fact leads to a change in the composition of the fuel-air mixture and to a change in the composition of the components in the combustion chamber of the engine cylinder and in its crankcase. As a result, the wear of the engine and its systems increases, therefore, diagnosis and timely diagnosis of processes occurring in the combustion chamber is important and relevant. (Research purpose) The research purpose is to determine theoretically the effect of the composition of crankcase gases on the excess air coefficient and possible relationships with the indicators of exhaust gas toxicity. (Materials and methods) Crankcase gases consist of a combustible mixture, as well as products of complete and partial combustion, the occurrence of malfunctions will change the coefficient of excess air directly in the combustion chamber of the engine cylinder, thereby changing the composition of crankcase and exhaust gases. (Results and discussion) The flow of broken gases through the cylinder-piston group leaks directly into the intake manifold, changing the composition of the working mixture in the combustion chamber and the composition of crankcase and exhaust gases. These circumstances lead to a change in the viscosity of the oil and wear of the main engine mechanisms, which reduces its service life. (Conclusions) Timely determination of the presence of hydrocarbons in the crankcase gases in the form of fuel vapors that dilute engine oil will prevent oil foaming and the appearance of an emulsion that makes it difficult for oil to flow to rubbing surfaces. The manifestation of symptoms and diagnostic signs will make it possible to assess not only the technical condition of the engine, but also the possible presence of other malfunctions in its systems and mechanisms.

Keywords: crankcase gases, diagnosis, cylinder-piston group, gas consumption, toxicity, carcinogens, faults.

For citation: Baganov N.A., Alekseyenko V.A., Sidel'nikov D.A., Isayev N.I., Radchenko A.E. Diagnostirovaniye dvigatelya po kolichestvennomu i kachestvennomu pokazatelyu proryva karternykh gazov [Engine diagnostics based on quantitative and qualitative indicators of crankcase gas breakthrough]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 13-20(In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-13-20. NSURRD.

Введение. Сегодня на Ставрополье сельское хозяйство занимает одну из лидирующих позиций по производству продукции. На полях Ставропольского края эксплуатируется 14 тыс. тракторов и около 4 тыс. комбайнов, а в России эта цифра составляет соответственно 430 тыс. тракторов и 52 тыс. комбайнов. В процессе эксплуатации двигателя сельскохозяйственной техники в зависимости от многих факторов технико-экономические показатели постоянно меняются. Это вызвано непостоянством влажности воздуха и температуры, загрязненностью фильтров и т. д., данный факт приводит

к изменению состава топливовоздушной смеси и, соответственно, количественного и качественного состава компонентов в камере сгорания цилиндра двигателя и в картере [1-3].

Токсичные выбросы двигателей тракторов представляют собой отработавшие и картерные газы и пары топлива, с которыми в атмосферу поступает до 45% углеводородов от их общего выброса.

Во многих литературных источниках указано, что при износе цилиндропоршневой группы (ЦПГ) снижается величина компрессии, мощность двигателя и ухудшаются топливо-экономические характеристики в целом [4, 5]. Увеличение зазоров в ЦПГ приводит к повышенному прорыву газов в картер двигателя и появлению сизого оттенка выхлопных газов. Это, как правило, служит диагностическим признаком неработоспособной ЦПГ.

Цель исследования - теоретически определить влияние состава картерных газов на коэффициент избытка воздуха и возможные взаимосвязи с показателями токсичности отработавших газов. Проведенный анализ литературы показал, что существующие методы и способы диагностирования систем двигателей основаны на измерении мощности, величины компрессии, токсичности отработавших газов, давления масла и др. [6, 7].

Установлено, что выбросы картерных газов к общему выбросу отработавших газов составляют 6-12% и они канцерогенны. Это позволяет выдвинуть гипотезу о том, что по количеству и составу картерных газов можно косвенно, а по некоторым показателям точно оценить состояние систем и механизмов двигателя. Для этого необходимо определить симптомы проявления тех или иных неисправностей, обозначить диагностические параметры. Сочетание этих параметров может информировать о наличии возможной неисправности в газораспределительном механизме, цилиндро-поршневой группе, системе питания и др [8-11].

Материалы и методы. Основным показателем, характеризующим процесс смесеобразования и сгорания в цилиндре двигателя, служит коэффициент избытка воздуха α , который представляет отношение действительного количества воздуха L, находящего в камере сгорания к теоретическому необходимому L_0 :

$$\alpha = L/L_0$$
. (1)

В связи с тем, что картерные газы состоят из горючей смеси, а также продуктов полного и частичного сгорания, появление вышеуказанных неисправностей изменяет коэффициент избытка воздуха а непосредственно в камере сгорания цилиндра двигателя, тем самым меняя состав картерных и отработавших газов.

Результаты и обсуждение. Количество газов, прорывающихся в картер, увеличивается с возрастанием нагрузки двигателя, а также по мере износа цилиндров, поршней и поршневых колец и определяется по следующему выражению [8]:

$$Q = 0.1 \cdot P_i \cdot V_{\text{AB}} \cdot \sqrt[3]{V_{hi}} + 0.02 \cdot T^{1,3} ,$$
 (2)

где Q – расход картерных газов, л/мин;

 P_i – среднее индикаторное давление, кг/см²;

 $V_{\rm дв}$ — рабочий объем двигателя, см³; $\sqrt[3]{V_{hi}}$ — линейный размер одного цилиндра, см; $T^{1.3}$ — наработка двигателя, ч.

При этом поток прорвавшихся газов через неплотности цилиндро-порш-

невой группы выходит напрямую в окружающую среду. При замкнутой системе вентиляции картерных газов они попадают непосредственно во впускной коллектор, меняя качественное содержание свежей порции воздуха, и, следовательно, состав рабочей смеси в камере сгорания и состав картерных и отработавших газов.

Действительное количество воздуха L, находящего в камере сгорания, складывается из трех составляющих и определяется по формуле:

$$L=L_{cs}+L_{ocm}+L_{\kappa 3}, \, \kappa 2 \tag{3}$$

где $L_{\scriptscriptstyle C6}$ — количество свежего заряда поступившего камеру сгорания цилин-

 L_{ocm} – количество остаточных газов в камере сгорания цилиндра, кг;

 $L_{\rm K3}$ – количество картерных газов в камере сгорания цилиндра, кг.

$$\alpha = \frac{L_{\text{CB}} + L_{\text{OCT}} + L_{\text{K3}}}{L_{\text{o}}}.$$
(4)

В этом случае неизвестно насколько изменится качественней состав картерных газов двигателя при изношенной цилиндро-поршневой группе и является ли это повышение результатом некорректной работы топливной системы впрыска дизеля? В любом случае эти обстоятельства приводят к изменению вязкости масла и, соответственно, износу основных механизмов двигателя, снижающему его ресурс.

Теоретически необходимо установить взаимосвязь неисправностей, возникающих в двигателе, с показателями величин отдельных компонентов продуктов сгорания, попавших в картер двигателя, концентрация которых в значительной степени зависит от технического состояния двигателя и его систем, влияющих на полноту сгорания топлива [12-15].

Теоретически оценить α в процессе можно косвенно через величину индикаторной мощности двигателя N_i согласно следующему выражению:

$$\alpha = \frac{H_{\rm u} \cdot \eta_{\rm j} \cdot n \cdot i \cdot V_{\rm h} \cdot \eta_{\rm v} \cdot \rho_{\rm B}}{N_{\rm i} L_{\rm o} \cdot 30 \cdot \tau},\tag{5}$$

где N_i – индикаторная мощность двигателя, кВт;

 H_u – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

 η_i – индикаторный КПД;

n – частота вращения КВ двигателя, мин⁻¹;

 V_h – объем цилиндров двигателя, л;

 η_{v} – коэффициент наполнения камеры сгорания цилиндра;

 τ — тактность двигателя;

 $\rho_{\rm g}$ — плотность воздуха кг/м³.

Индикаторное давление определяют по следующему выражению:

$$P_{i} = \frac{30\tau \cdot L_{0} \cdot N_{i}}{V_{b} \cdot n \cdot i} \tag{6}$$

Тогда расход картерных газов будет равен:

$$Q = 0.1 \cdot \frac{30\tau \cdot L_0 \cdot N_i}{V_h \cdot n \cdot i} \cdot V_h \cdot \sqrt[3]{V_{h_i}} + 0.02 \cdot T^{1,3}.$$
 (7)

Выразив из выражения (6) значение N_i и подставив в формулу (5), после

сокращений и преобразований получим:
$$\alpha = \frac{H_u \eta_i \cdot V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_e \cdot 0.1 \cdot \sqrt[3]{Vh}_i + 0.02 \cdot T^{1,3}}{30\tau \cdot L_o \cdot Q} \ . \tag{8}$$

Таким образом, теоретически можно определить коэффициент избытка

воздуха с учетом картерных газов, поступающих в камеру сгорания цилиндра.

Наиболее полное представление о коэффициенте α даст анализ картерных газов на содержание окиси углерода CO, углекислого газа CO_2 , окислов азота No_x , углеводородов CmHn и др., который связан следующими зависимостями (puc.).

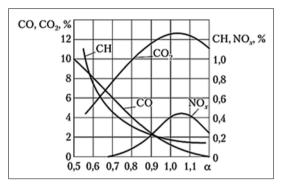


Рис. Характеристика токсичных веществ в отработавших газах в зависимости от коэффициента избытка воздуха α: CO – содержание угарного газа, %; NO – содержание окислов азота, %; CH – содержание углеводородов, %; CO₂ – содержание углекислого газа, %

Выводы. Своевременное определение наличия в картерных газах углеводородов в виде паров топлива, разжижающих моторное масло, позволит предотвратить вспенивание масла и появление эмульсии, затрудняющей поступление масла к трущимся поверхностям. А выявление в картерных газах других элементов в виде других токсичных компонентов, образующих в масле смолистые вещества и кислоты, своевременно исключит коррозию трущихся поверхностей. Таким образом, изменение качественного состава картерных газов может свидетельствовать о наличии скрытых неисправностей.

Проявление симптомов и диагностических признаков даст возможность оценивать не только техническое состояние двигателя, но и возможное наличие других неисправностей в его системах и механизмах.

Данные выводы позволили выдвинуть гипотезу о том, что объективно оценить эффективность использования техники возможно по данным показателей картерных газов, а с помощью электронных датчиков, передающих сигналы, можно дистанционно определять изменения, происходящие в картере двигателя и своевременно ставить соответствующий диагноз, не дожидаясь очередного технического обслуживания. Поэтому тема, направленная на повышение эффективности использования сельхозтехники путем своевременной оценки технического состояния двигателя по параметрам давления и состава картерных газов, важна и актуальна. Дальнейшие экспериментальные исследования будут нацелены на выбор наиболее информативных диагностических признаков и параметров.

Библиографический список

- 1. Baganov N.A., Salykova O.S., Bekhtold T.G. Effects of the technical condition of the cylinder-piston group on the coefficient of excess air in the cylinder of the engine. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 2018. Vol. 90. N1 S2. 1217-1227.
- 2. Баганов Н.А. Диагностирование работоспособности карбюратора на фоне основных неисправностей двигателя при тестовых режимах его работы (на примере автомобилей, используемых в сельском хозяйстве): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Челябинск. 2003. 190 с.

- 3. Сокол Н.А., Попов С.И. Основы конструкции расчета автомобиля. Ростовн/Л: Феникс. 2006. 303 с.
- 4. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля. М.: ФОРУМ, ИНФРА-М. 2005. 368~c.
- 5. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности. М.: ФОРУМ. 2011. 208 с.
- 6. Круглик В.М., Сычев Н.Г. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта. Минск: Новое знание; М.: Инфра-М. 2015. 260 с.
- 7. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. Изд. 2-е, исправ. и доп. М.: Академический Проект. 2010. 400 с.
- 8. Николаев Е.В. Совершенствование технологии диагностирования цилиндропоршневой группы дизельного двигателя по параметрам картерных газов: дис. ... кан. техн. наук: 05.20.03. М. 2013. 178.
- 9. Колунин А.В., Шудыкин А.С., Белокопытов С.В. Определение состояния цилиндропоршневой группы двигателей военной техники по расходу картерных газов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. N11. C. 583-588.
- 10. Кожанов В.Н., Баганов Н.А., Грицай Д.И., Койчев В.С., Петелин А.А. Оценка токсичности отработавших газов дизелей при отключении цилиндров двигателя // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета механизации сельского хозяйства Ставропольского ГАУ в рамках XXII Специализированной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2020». Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет. 2020. С. 76-84.
- 11. Баганов Н.А., Кобозев А.К., Алексеенко В.А. К вопросу управления техническим состоянием машин используемых в сельском хозяйстве // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета механизации сельского хозяйства Ставропольского ГАУ в рамках XXII Специализированной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2020». Ставрополь. Ставропольский государственный аграрный университет. 2020. С. 90-95.
- 12. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. C. 46-55.
- 13. Годжаев З.А., Ценч Ю.С., Шевцов В.Г., Лавров А.В., 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.
- 14. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. C. 46-55.
- 15. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Ч. 1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ. 2019. 228 с.

References

- 1. Baganov N.A., Salykova O.S., Bekhtold T.G. Effects of the technical condition of the cylinder-piston group on the coefficient of excess air in the cylinder of the engine. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. 2018. Vol. 90. N1 S2. 1217-1227.
- 2. Baganov N.A. Diagnostirovaniye rabotosposobnosti karbyuratora na fone osnovnykh neispravnostey dvigatelya pri testovykh rezhimakh ego raboty (na primere avtomobiley,

- ispol'zuyemykh v sel'skom khozyaystve): dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03 [Diagnostics of carburetor operability against the background of the main engine malfunctions during test modes of its operation (on the example of cars used in agriculture): Ph.D.(Eng.) thesis: 05.20.03]. Chelyabinsk. 2003. 190 (In Russian).
- 3. Sokol N.A., Popov S.I. Osnovy konstruktsii rascheta avtomobilya. [Fundamentals of the design and the calculation of the car] Rostov-on-Don: Feniks. 2006. 303 (In Russian).
- 4. Osnovy teorii avtomobil'nykh dvigateley i avtomobilya [Fundamentals of the theory of automobile engines and the automobile]. Moscow: FORUM, INFRA-M. 2005. 368 (In Russian).
- 5. Kuz'min N.A. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: zakonomernosti izmeneniya rabotosposobnosti [Technical operation of cars: patterns of changes in working capacity]. Moscow: FORUM. 2011. 208 (In Russian).
- 6. Kruglik V.M., Sychev N.G. Tekhnologiya obsluzhivaniya i ekspluatatsii avtotransporta [Technology of maintenance and operation of vehicles]. Minsk: Novoye znaniye; Moscow: Infra-M. 2015. 260 (In Russian).
- 7. Kul'chitskiy A.R. Toksichnost' avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley [Toxicity of automobile and tractor engines]. 2nd ed., rearr. and exp. Moscow: Akademicheskiy Proyekt. 2010. 400 (In Russian).
- 8. Nikolayev E. V. Sovershenstvovaniyetekhnologiidiagnostirovaniyatsilindroporshnevoy gruppy dizel'nogo dvigatelya po parametram karternykh gazov: dis. ... kan. tekhn. nauk: 05.20.03 [Improving the technology of diagnosing the cylinder piston group of a diesel engine according to the parameters of crankcase gases: Ph.D.(Eng.) thesis: 05.20.03]. Moscow. 2013. 178 (In Russian).
- 9. Kolunin A.V., Shudykin A.S., Belokopytov S.V. Opredeleniye sostoyaniya tsilindroporshnevoy gruppy dvigateley voyennoy tekhniki po raskhodu karternykh gazov [Assessing the state of the cylinder piston group of engines of military equipment by the consumption of crankcase gases]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. 2018. N11. 583-588 (In Russian).
- 10. Kozhanov V.N., Baganov N.A., Gritsay D.I., Koychev V.S., Petelin A.A. Otsenka toksichnosti otrabotavshikh gazov dizeley pri otklyuchenii tsilindrov dvigatelya [Assessment of the toxicity of diesel exhaust gases when engine cylinders are switched off]. Aktual'nyye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: sbornik nauchnykh statey po materialam XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu fakul'teta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva Stavropol'skogo GAU v ramkakh XXII Spetsializirovannoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal-2020». Stavropol': Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2020. 76-84 (In Russian).
- 11. Baganov N.A., Kobozev A.K., Alekseyenko V.A. K voprosu upravleniya tekhnicheskim sostoyaniyem mashin ispol'zuyemykh v sel'skom khozyaystve [Managing the technical condition of machines used in agriculture]. Aktual'nyye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: sbornik nauchnykh statey po materialam XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu fakul'teta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva Stavropol'skogo GAU v ramkakh XXII Spetsializirovannoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal-2020». Stavropol'. Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2020. 90-95 (In Russian).
- 12. Lobachevskiy YA.P., Tsench YU.S., Beylis V.M. Sozdaniye i razvitiye sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
- 13. Godzhaev Z.A., Tsench Yu. S., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030

goda (prognoz) [Strategy of russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4(137). 220-229 (In Russian).

14. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian).

15. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa [Innovative system of machine and technological support of agro-industrial enterprises]. Part. 1. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy na dlitel'nuyu perspektivu. Moscow: 2019. 228 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Баганов Н.А. — научное руководство, анализ и доработка текста; Алексеенко В.А. — подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста;

Сидельников Д.А. – подготовка научной части, анализ литературных данных;

Исаев Н.И. – анализ литературных данных; подготовка практической части;

Радченко А.Е. — техническая верстка материала, оформление библиографического списка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Baganov N.A. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Alekseenko V.A. – preparation and analysis of literary data, manuscript editing; Sidelnikov D.A. – preparation of the scientific part, analysis of literary data; Isaev N.I. – analysis of literary data; preparation of the practical part; Radchenko A.E. – technical layout of the material, arranging of the bibliographic list.

All the authors have read and approved the final manuscript.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Юрий Владимирович Катаев, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: ykataev@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследования, направленные на создание и внедрение современных методов диагностирования сельскохозяйственной техники, позволяющие совершенствовать диагностику и повышать достоверность определения параметров технического состояния машин в режиме реального времени с использованием современных цифровых технологий, актуальны в настоящее время. (Цель исследования) Оценить возможности диагностирования энергонасыщенной сельскохозяйственной техники с применением иифровых технологий. (Материалы и методы) Использовали материалы и методы, базирующиеся на применении интеллектуальных информационных технологий, автоматизированных систем контроля и управления техническим состоянием сельскохозяйственной техники. Отметили, что для выявления технического состояния объекта использовали электронный блок управления машиной с САЛ-шиной. Показали, что снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт и повышение уровня работоспособности сельскохозяйственной техники в значительной степени способствуют комплексному подходу к разработке методов, средств и технологий диагностирования и автоматизированных управляющих систем на базе цифровых технологий с минимальными требованиями к контролепригодности машины. Расширение номенклатуры методов, способов и оборудования для получения объективной информации о эксплуатационной надежности энергонасыщенной техники позволяет проводить системные исследования по технической диагностике. (Результаты и обсуждение) Результаты и проведенный анализ данной работы заключаются в комплексном подходе к проведению исследований по диагностированию с применением цифровых технологий в электронном блоке управления, оценке уровня технического состояния с использованием данного метода диагностики, позволяющего фиксировать неисправности по получаемым выходным сигналам с энергонасыщенной техники. (Выводы) Внедрение элементов диагностики мобильных энергетических средств через CAN-шину позволяет в режиме реального времени получать текущую информацию о техническом состоянии машины, что не допускает в процессе эксплуатации энергонасыщенной техники выхода ее параметров за допустимые пределы, тем самым снижаются ее простои.

Ключевые слова: диагностирование, сельскохозяйственная техника, цифровые технологии, надежность, эксплуатация.

Для цитирования: Катаев Ю.В. Диагностирование технического состояния мобильных энергетических средств с использованием цифровых технологий // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 21-28. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28. RGHPRB

DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF MOBILE POWER EQUIPMENT USING DIGITAL TECHNOLOGIES

Yuriy V. Kataev, Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow Russian Federation

Abstract. Research aimed at creating and implementing modern methods of diagnosing agricultural machinery, allowing to improve diagnostics and increase the reliability of assessing the technical condition of machines in real time using modern digital technologies, is relevant at the present time. (Research purpose) The research purpose is evaluating the possibilities of diagnosing high-power agricultural machinery using digital technologies. (Materials and methods) Materials and methods based on the use of intelligent information technologies, automated control systems and management of the technical condition of agricultural machinery were used. An electronic control unit with a CAN bus was used to identify the technical condition of the object. The article shows that reducing maintenance and repair costs and increasing the level of efficiency of agricultural machinery significantly contribute to an integrated approach to the development of methods, tools and technologies for diagnostics and automated control systems based on digital technologies with minimal requirements for the controllability of the machine. The expansion of the nomenclature of methods and equipment for obtaining information about the operational reliability of high-energy equipment makes it possible to conduct systematic research on technical diagnostics. (Results and discussion) The results and analysis of this work consists in a comprehensive approach to conducting diagnostic studies using digital technologies through an electronic control unit, assessing the level of technical condition using this diagnostic method, which allows fixing malfunctions based on the received output signals from energy-saturated equipment. (Conclusions) The introduction of diagnostic elements of mobile power facilities via the CAN bus allows you to receive current information about the technical condition of the machine in real time, which does not allow its parameters to exceed permissible limits during the operation of energy-saturated equipment, thereby reducing its downtime.

Keywords: diagnostics, agricultural machinery, digital technologies, reliability, operation.

For citation: Katayev Yu.V. Diagnostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv s ispol'zovaniyem tsifrovykh tekhnologiy [Diagnosing the technical condition of mobile power equipment using digital technologies]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 21-28 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28. RGHPRB.

Введение. Важнейшим фактором, который влияет на эффективность и надежность парка мобильных энергетических средств (МЭС) в АПК, служит своевременный контроль и поддержание их параметров для обеспечения заявленных производителем энергетических и топливно-экономических показателей [1].

За последние 5-10 лет получили широкое применение новейшие цифровые технологии в процессах измерений и управления системами, масштабное развитие компьютерной техники, электронных и других средств получения информации о параметрах различных объектов и характеристиках происходящих процессов. Поэтому своевременными и важными представ-

ляются исследования, направленные на создание и внедрение современных методов диагностирования сельскохозяйственной техники, позволяющие совершенствовать диагностику и повышать достоверность определения параметров технического состояния машин в режиме реального времени с использованием современных цифровых технологий [2-5].

По аналитическим данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, наша страна располагается на 17 месте в мире по уровню цифровизации: цифровые технологии используются в обработке всего 10% пашни [6].

При этом существует утвержденный проект «Цифровое сельское хозяйство», который должен способствовать внедрению цифровых решений в производственные процессы АПК. В техническом сервисе сельскохозяйственных машин успешно применяют такие цифровые решения, как «умный склад запасных частей», «умный нефтесклад», телеметрические системы мониторинга за техническим состоянием техники и др.

Цель исследования — оценить возможности диагностирования энергонасыщенной сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий.

Материалы и методы. Стратегически важное направление развития цифровизации при совершенствовании эксплуатации мобильных энергетических средств заключается в их оснащении цифровыми средствами контроля и диагностирования. Применение цифровых технологий при техническом сервисе позволит сократить эксплуатационные и экономические издержки при эксплуатации техники, повысить коэффициент ее технической готовности.

Использование цифровых технологий диагностирования представили на примере трактора *John Deere* 7830, принадлежащего к классу универсально-пропашных машин. Трактор предназначен для выполнения различных сельскохозяйственных работ с навесными, полунавесными и прицепными машинами и орудиями, а также для выполнения транспортных работ в растениеводстве, животноводстве и садоводстве [7].

Трактор John Deere 7830 оснащен телеметрической системой, обеспечивающей высокую эффективность машины при выполнении работ. Например, системой *IPM*, которая отвечает за работу двигателя путем управления его мощностью. Двигатель самостоятельно подбирает требуемую мощность в зависимости от степени нагрузок, благодаря чему повышается экономия топлива.

Машина данной модели оснащена дизельной шестицилиндровой силовой установкой *John Deere PowerTech Plus* с электронным блоком управления (ЭБУ), включающим систему управления двигателем. Бортовой компьютер трактора обладает диагностической функцией. В ЭБУ реализуется сравнение сигналов с датчиков, которые поступают на исполнительные устройства. Штатные значения этих сигналов хранятся в постоянной ячейке памяти ЭБУ. Обнаруженные неисправности и соответствующие им режимные параметры находятся в памяти контроллера [8-11].

Электронная контрольно-измерительная панель, расположенная в кабине трактора, соединена с блоком управления двигателем *John Deere*, что позволяет оператору своевременно осуществлять мониторинг характеристик двигателя, а также диагностировать любые проблемы, которые возникают во время работы.

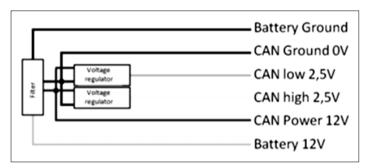
Диагностическое устройство постоянно отслеживает все сообщения при помощи интерфейса *CAN* (*Controller Area Network*) и отображает все коды активных сигналов о неисправности (*DTCs*) в момент прихода сообщения. *CAN*-шина — это система цифровой связи и управления электрическими устройствами машины, позволяющая собирать данные от всех устройств, обмениваться информацией между ними, управлять ими. Некоторое про-

граммное обеспечение разрешает получать доступ к CAN-шине, а соответственно, и к более широкому спектру информации о техническом состоянии машины. В машинах *John Deere* данный интерфейс носит название CANBUS и представляет собой локальную сеть контроллеров ($puc.\ I$).



Рис. 1 Локальная сеть контроллеров трактора

CANBUS представляет собой систему, состоящую из четырех проводов: $CAN\ high$ (желтый), $CAN\ low$ (зеленый), $CAN\ power$ (красный) и $CAN\ ground$ (черный) ($puc.\ 2$). Кроме этого, CANBUS содержит источник электрического питания с возможностью энергоснабжения и заземления аккумуляторной батареи, с целью поддержания напряжения CANBUS на требуемом уровне.



Puc. 2 Система CANBUS

Провода $CAN\ high$ и $CAN\ low$ используются для передачи данных или сообщений по системе BUS с помощью двоичного кода (0 соответствует выключенному питанию, а 1 — включенному). Напряжение обоих проводов $CAN\ high$ и $CAN\ low$ составляет 2,5 B, в том случае если по системе BUS не передаются сообщения. При отправке сообщения и во время передачи бита напряжение на проводе $CAN\ high$ возрастает на $1\ B$, а на проводе $CAN\ low$ — снижается на $1\ B$. Структура CAN-сети трактора представлена на $DAN\ low$ — $CAN\ low$ —

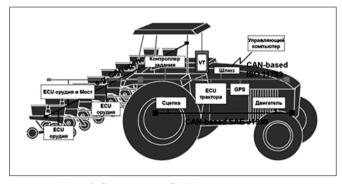


Рис. 3 Структура САN-сети трактора

Результаты и обсуждение. Диагностировать техническое состояние напрямую сложно, так как техническое состояние — это набор параметров, которые можно только отслеживать по изменению все тех же параметров. Можно контролировать динамику этих параметров за весь срок службы и по их изменению фиксировать изменение технического состояния.

Диагностический прибор подключается к системе электронного управления и, соответственно, считывает и обрабатывает информацию, получаемую с датчиков. Для анализа доступна информация со следующих датчиков:

- температуры охлаждающей жидкости двигателя;
- температуры воздуха на впуске;
- давления масла;
- давления топлива в рампе высокого давления;
- положения коленчатого вала;
- положения насоса;
- прочие датчики.

Это позволяет проводить текущий контроль работы систем техники и при необходимости устранять неисправности.

Стандарт ISO 11783 «Тракторы и машины для сельского и лесного хозяйства» (также известен как ISOBUS, основан на протоколе SAE J1939) регламентирует передачу сообщений в сетях CAN-шины сельскохозяйственных и лесохозяйственных машин и оборудования. Согласно требованиям стандарта трактор должен быть оборудован стандартным диагностическим разьемом, стандартным протоколом обмена данных между диагностическим прибором (сканером) и блоком управления, который унифицирован перечнем кодов неисправностей.

Стандарт сети предоставляет широкие возможности для практически безошибочной передачи данных между узлами, оставляя разработчику возможность вписать в этот стандарт максимально возможное количество параметров (puc. 4).

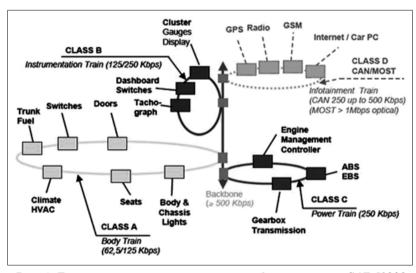


Рис. 4. Децентрализованная архитектура бортовой сети SAE J1939

Передача сообщений в шине CAN представляет собой электрические сигналы, поступающие с CAN-шины силового агрегата, которые отличаются от сигналов, поступающих с CAN-шины системы «Комфорт» и информационно-командной системы ($puc.\ 5,\ a,\ b$).

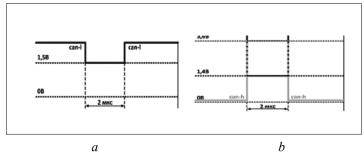


Рис. 5 Форма сигнала, проходящего по проводам CAN-шины информационнокомандной системы:

а – CAN-шина силового агрегата; b – CAN-шина системы «Комфорт»

Таким образом, при переходе шины CAN силового агрегата в доминантное состояние напряжение на проводе High достигает 3,5 В (2,5+1=3,5 В), а на проводе Low оно понижается до 1,5 В (2,5-1=1,5 В). При нахождении шины CAN в рецессивном состоянии разность напряжений на ее проводах равно нулю, а при ее нахождении в доминантном состоянии разность напряжений на проводах шины составляет не менее 2 В.

Напряжение на проводе High при рецессивном состоянии CAN-шины системы «Комфорт» равно нулю, а в доминантном состоянии оно увеличивается не менее чем до 3,6 В. Напряжение на проводе Low при рецессивном состоянии шины равно 5 В, а в доминантном состоянии оно падает не менее чем до 1,4 В. Поэтому после образования разности напряжений в дифференциальном усилителе рецессивный уровень сигнала равен — 5 В, а доминантный уровень составляет 2,2 В. Таким образом разность напряжений при рецессивном и доминантном состояниях шины равна или больше 7,2 В.

Данные в CAN передаются короткими сообщениями-кадрами стандартного формата. В CAN существуют четыре типа сообщений: $Data\ Frame$, $Remote\ Frame$, $Error\ Frame$, $Overload\ Frame$.

Выводы. Внедрение элементов диагностики мобильных энергетических средств через CAN-шину позволяет в режиме реального времени получать текущую информацию о техническом состоянии машины, что не допускает в процессе эксплуатации энергонасыщенной техники выхода ее параметров за допустимые пределы, тем самым снижаются ее простои.

Таким образом достигается увеличение срока службы машины и эффективность ее работы.

Библиографический список

- 1. Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Голубев И.Г. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях. М.: Росинформагротех. 2008. 148 с.
- 2. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. N2(102). С. 45-50.
- 3. Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Скороходов Д.М., Свиридов А.С. Цифровые решения при техническом сервисе сельскохозяйственной техники: аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2020. 76 с.
- 4. 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. C. 79-82.
- 5. Дорохов А.С. Входной контроль качества машиностроительной продукции, поставляемой сельскому хозяйству. М.: Московский государственный агроинже-

- нерный университет им. В.П. Горячкина, 2010. 211 с.
- 6. Агропромышленный комплекс России в 2020 году: аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2021. 564 с.
- 7. Руководство по эксплуатации тракторов Джон Дир. URL: https://aplusmanual.com/2145/john-deere-tractors-2204-7630-7730-7830-7930-worldwide-edition-diagnosis-and-tests-service/ (дата обращения 30.10.2022).
- 8. Васильев А.Н. Дорохов А.С., Ершова И.Г., Учеваткин А.И., Косолапова Е.В. Методология исследования энергосберегающих технологических систем обработки сельхозпродукции как объектов управления // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. N4(63). С. 86-104.
- 9. Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Модель устройства для сбора информации о надежности техники // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. Ч 1. С. 115-119.
- 10. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. C. 34-37.
- 11. Гуляренко А.А. Методика сбора информации при эксплуатационных испытаниях тракторов на надежность // Вестник ЧГАУ. 2009. Т. 54. С.103-106.
- 12. 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). C. 39-4.

References

- 1. Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Pil'shchikov L.M., Golubev I.G. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye, remont i obnovleniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v sovremennykh usloviyakh [Maintenance, repair and renewal of agricultural machinery in modern conditions]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2008. 148 (In Russian).
- 2. 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).
- 3. Golubev I.G., Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Skorokhodov D.M., Sviridov A.S. Tsifrovyye resheniya pri tekhnicheskom servise sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: analiticheskiy obzor [Digital solutions for the technical service of agricultural machinery: an analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2020. 76 (In Russian).
- 4. 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).
- 5. Dorokhov A.S. Vkhodnoy kontrol' kachestva mashinostroitel'noy produktsii, postavlyayemoy sel'skomu khozyaystvu [Input quality control of machine-building products supplied to agriculture]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina, 2010. 211 (In Russian).
- 6. Agropromyshlennyy kompleks Rossii v 2020 godu: analiticheskiy obzor [Agro-industrial complex of Russia in 2020: analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2021. 564 (In Russian).
- 7. Rukovodstvo po ekspluatatsii traktorov Dzhon Dir [John Deere Tractor Operating Manual]. URL: https://aplusmanual.com/2145/john-deere-tractors-2204-7630-7730-7830-7930-worldwide-edition-diagnosis-and-tests-service/ (date 30.10.2022). (In Russian).
- 8. Vasil'yev A.H. Dorokhov A.S., Ershova I.G., Uchevatkin A.I., Kosolapova E.V. Metodologiya issledovaniya energosberegayushchikh tekhnologicheskikh sistem obrabotki sel'khozproduktsii kak ob''yektov upravleniya [Methodology of research of energy-saving technological systems of processing of agricultural products as objects of

- management]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. Vol. 12. N4(63). 86-104 (In Russian).
- 9. Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Model' ustroystva dlya sbora informatsii o nadezhnosti tekhniki [Model of a device for collecting information about the reliability of equipment]. Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. Ch 1. 115-119 (In Russian).
- 10. 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).
- 11. 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).
- 12. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev 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 oborudovanie dlya sela. 2020. N11(281). 39-4.

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



ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

Руслан Фанзилович Самиков, аспирант;

Шамиль Файзрахманович Нигматуллин, кандидат технических наук, доцент; Арсений Александрович Козеев, кандидат технических наук, доцент; Махмут Магдутович Разяпов, кандидат технических наук, доцент, е-mail: 89173711415@mail.ru

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. В современных двигателях внутреннего сгорания часть энергии топлива, которая расходуется на полезную энергию, составляет в среднем 35 процентов. До 30 процентов уходит на энергию, выделяющуюся при сгорании топлива, которая выводится с выхлопными газами двигателя. Существует множество способов повышения коэффициента полезного действия двигателя внутреннего сгорания, один из которых – способ повышения коэффициента полезного действия путем рекуперации тепловых потерь, подразумевающий собой использование устройства для преобразования тепловой энергий в электрическую, работающего на эффекте Зеебека. (Цель исследования) Разработать экспериментальную установку для рекуперации тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания в электрическую энергию и вывести закономерности влияния работы термоэлектрического генератора в системе электропитания в автотракторной технике. (Материалы и методы) Применили методы численного анализа и компьютерного моделирования с использованием компьютерных программ ANSYS Thermal Steady State u Solidworks FlowSimulation. Использовали в качестве силовой установки лабораторный стенд, функционирующий от двигателя Д-65 (Результаты и обсуждение) Получили зависимости генерируемого напряжения и силы тока термоэлектрического генератора от температуры выхлопных газов и охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания. Максимальная генерируемая мощность разработанного термоэлектрического генератора составила 54,5 ватт. Максимальная сила тока термоэлектрического генератора в процессе работы экспериментальной установки составила 3,7 ампер с выходным напряжением 22 вольта. (Выводы) Применение разработанного термоэлектрического генератора для рекуперации энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания позволяет повысить степень использования выделяющегося при сгорании топлива тепла и дает дополнительный источник электрической энергии.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, теплообменник, отработавшие газы, напряжение, температура, рекуперация, двигатель внутреннего сгорания.

Для цитирования: Самиков Р.Ф., Нигматуллин Ш.Ф., Козеев А.А., Раз япов М.М. Исследование способа рекуперации тепловой энергии отработавших газов ДВС // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 29-38. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-29-38. RQSEEJ.

THE METHOD OF THERMAL ENERGY RECOVERY OF EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Ruslan F. Samikov, postgraduate; Shamil F. Nigmatullin, Ph.D.(Eng.), associate professor; Arseniy A. Kozeev, Ph.D.(Eng.), associate professor; Mahmut M. Razyapov, Ph.D.(Eng.), associate professor Bashkir State Agrarian University Ufa, Repubik Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. In modern internal combustion engines, the part of the fuel energy that is consumed for useful energy is on average 35 percent. Up to 30 percent is spent during the combustion of fuel, which is removed with the exhaust gases of the engine. There are many ways to increase the efficiency of an internal combustion engine, one of which is a way to increase the efficiency by recuperating heat losses, implying the use of a device for converting thermal energy into electrical energy, operating on the Seebeck effect. (Research purpose) The research purpose is developing an experimental installation for the recovery of thermal energy from exhaust gases of an internal combustion engine into electrical energy and deducing the regularities of the thermoelectric generator in the power supply system in automotive equipment. (Materials and methods) Applied methods of numerical analysis and computer modeling using computer programs ANSYS Thermal Steady State and Solidworks FlowSimulation. A laboratory stand operating from the D-65 engine was used as a power plant (Results and discussion) The dependencies of the generated voltage and current of the thermoelectric generator on the temperature of the exhaust gases and coolant of the internal combustion engine were obtained. The maximum generated power of the developed thermoelectric generator was 54.5 watts. The maximum current of the thermoelectric generator during operation of the experimental installation was 3.7 amperes with an output voltage of 22 volts. (Conclusions) The use of the developed thermoelectric generator for the recovery of the energy of the exhaust gases of the internal combustion engine makes it possible to increase the use of the heat released during the combustion of fuel and provides an additional source of electrical energy.

Keywords: thermoelectric generator, heat exchange, exhaust gases, voltage, temperature, recovery, internal combustion engine.

For citation: Samikov R.F., Nigmatullin Sh.F., Kozeyev A.A., Razyapov M.M. Issledovaniye sposoba rekuperatsii teplovoy energii otrabotavshikh gazov DVS [The method of thermal energy recovery of exhaust gases of internal combustion engines]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 29-38 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-29-38.RQSEEJ.

Введение. В настоящее время мировой автомобильный парк превысил один млрд единиц, в результате автомобили стали основными загрязнителями атмосферы Земли выхлопными газами. Современные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия (КПД). Однако значительная часть мощности сгорающего топлива и часть полезной мощности ДВС безвозвратно рассеивается в атмосферу через выпускные тракты, систему охлаждения, трансмиссию и вспомогательные механизмы автомобиля. Возникает необходимость сбора и последующей рекуперации тепловых потерь с целью экономии топлива автомобилем [1-4].

Для оценки возможности рекуперации тепловых потерь необходимо проанализировать тепловой баланс ДВС. Уравнение теплового баланса двигателя ДВС в относительных единицах имеет следующий вид:

$$q_e + q_{oxn} + q_z + q_M + q_{ocm} = 100\%$$

где q_e – доля теплоты, эквивалентная эффективной работе двигателя;

 q_{ox} – доля теплоты, отводимая от двигателя охлаждающей средой;

 q_{ε} – доля теплоты, отводимая выпускными газами;

 $q_{\rm M}$ – доля теплоты, отводимая смазочным маслом;

 q_{ocm} —доля теплоты, расходуемая на лучистый и конвективный теплообмен. Для разных типов двигателей распределение теплоты может различаться. Для примера проанализируем усредненные данные теплового баланса бензиновых двигателей, представленные в *таблиие* 1.

Таблица 1 Тепловой баланс дизельных двигателей без турбонаддува

			<u> </u>	
q_e	q_{oxn}	q_z	$q_{\scriptscriptstyle \mathcal{M}}$	q_{ocm}
30-40%	18-20%	25-30%	2-6%	2-4%

Как видно, на тепловые потери расходуется до 60% энергии, полученной при сгорании топлива [5]. Потери делятся на теплоту, отводимую охлаждающей жидкостью, и теплоту, отводимую отработавшими газами. Доля теплоты, отводимой маслом и расходуемой на излучение и конвекцию, относительно несущественна. Отработавшие газы (ОГ) для дизельных двигателей имеют температуру в начале выпускной системы от 600 до 700° С, при работе двигателя на режиме максимальной мощности [6, 7].

Известны следующие способы рекуперации теплотой энергии:

- рекуперация энергии ОГ в выпускных трактах ДВС с помощью теплообменников самых разных конструкций, передающих теплоту непосредственно потребителям;
 - применение теплообменников-рекуператоров на базе тепловых труб;
- применение теплоаккумулирующих материалов, способных накапливать тепло, которое в дальнейшем можно рационально использовать, например, на предпусковой разогрев;
- другие способы, в частности, термоэлектрическая генерация постоянного тока, рассматриваемая в данной статье.

Существует большое количество способов рекуперации тепловых потерь, основанных на различных принципах. Анализ способов показал, что рекуперация тепловой энергии с помощью применения термоэлектрического генератора (ТЭГ) представляет собой наиболее эффективную. Реализация данного способа основана на непосредственном преобразовании тепловой энергии в электрическую. Он не требует для этого дополнительного потребителя тока, а также не имеет в конструкции движущихся частей. Поэтому сочетает в себе хороший баланс эффективности и невысоких затрат на установку.

Цель исследования — разработать экспериментальную установку для рекуперации тепловой энергии отработавших газов ДВС в электрическую энергию и вывести закономерности влияние работы термоэлектрического генератора в системе электропитания в автотракторной технике.

Материалы и методы. Разработанная система работает следующим образом: выхлопные газы с двигателя внутреннего сгорания 1 проходят через ТЭГ 6 и передают посредством теплопередачи тепло к стенкам теплообменников ТЭГ. Циркуляционный импульсный насос 9 перекачивает охлаждающую жидкость через теплообменники 7 ТЭГ в емкость 8, происходит охлаждение холодных стенок ТЭГ (рис. 1).

Благодаря созданной разнице температур на стенках термоэлектрических генераторных модулей за счет эффекта Зеебека генерируется электрическая энергия. Мультиметр 4 необходим для регистрации напряжения с ТЭГ. Аналого-цифровой преобразователь регистрирует изменение температур на термопарах 1-5.

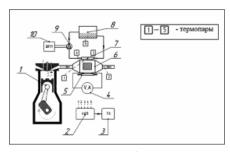


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 – двигатель внутреннего сгорания;

2 – аналого-цифровой преобразователь Zet-210; 3 – персональный компьютер;

4 – мультиметр; 5 – термоэлектрические генераторные модули;

6 — термоэлектрический генератор; 7 — радиаторы жидкостного типа; 8 — емкость с жидкостью; 9 — импульсный насос; 10 — имитатор широтно-импульсной модуляции

Размещение термопар на экспериментальной установке:

- 1 T1 температура стенок ТЭГ;
- 2 T2 -температура выхлопных газов на выходе с ТЭГ;
- 3 Т3 температура выхлопных газов на входе в теплообменники;
- 4 Т4 температура выхлопных газов на выходе с теплообменников;
- 5 Т5 температура охлаждающей жидкости в емкости.

Для моделирования термоэлектрического генератора выбрали CAD систему AnsysSpaceClaim, смоделировали модель с конструкцией проточной части.

ТЭГ имеет осесимметричную конструкцию с сечением проточной части в форме шестигранника. ТЭГ рассматриваемого типоразмера предназначен для установки в выпускной системе автотракторной техники. Отработавшие газы проходят через внутреннюю часть горячего теплообменника. Расположенный внутри проточной части расширитель потока 3 обеспечивает их течение вблизи стенок горячего теплообменника (рис. 2).

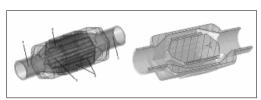


Рис. 2. Расчетная модель $TЭ\Gamma$: 1 – выходной трубопровод отработавших газов; 2 – $T\Gamma M$; 3 - расширитель потока; 4 – выходной трубопровод отработавших газов; 5 – пластины направляющие

Термоэлектрические генераторные модули (ТГМ) прижимаются к корпусу теплообменника с помощью радиаторов жидкостного типа, интегрированных в контур системы охлаждения ДВС. Для расчета поставленной задачи был выбран пакет ANSYSThermalSteadyState, реализующий метод конечных элементов, применение которого позволяет с малой погрешностью рассчитать тепловое поле нагрева поверхности ТЭГ [8-16].

Расчет в программном пакете ANSYS проходил в несколько этапов:

- задание свойств материалов, которое было выполнено в рамках модуля *EngineeringData*, в качестве материала взяли конструкционную сталь 3 ГОСТ 380-2005;
 - генерация конечно-элементной (КЭ) сетки с учетом геометрии объекта;
 - проведение расчета и обработка результатов.

После создания твердотельной конечно-элементной сетки модели с продольным оребрением провели термический анализ поверхности нагрева ТЭГ (puc. 3)

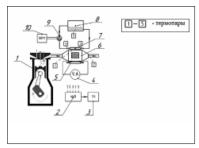


Рис. 3. Конечно-элементная сетка модели

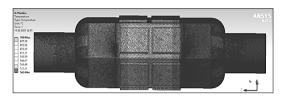


Рис. 4. Карта распределения температур

По карте распределения температур на поверхности ТЭГ видно, что максимальная температура составляет 700, минимальная 500 °C (рис. 4). Компьютерное моделирование исследуемых объектов выполнили с использованием программного модуля SolidWorks FlowSimulation, основанного на методе конечных элементов. Численный расчет проводили при следующих допущениях: процессы течения газа и теплообмена стационарны; плотность теплового потока на поверхности стенки проточного канала постоянна; в потоке отработавших газов отсутствуют внутренние источники теплоты; на торцевых поверхностях каналов отсутствует теплообмен.

Для расчетной модели были заданы следующие физические условия:

- в качестве материала трубы в форме шестигранника выбрали сталь 3, в качестве газов отработавшие газы ДВС;
 - начальные условия: температура трубы 20°C;
- граничные условия: температура отработавших газов на входе 500°C; геометрические условия: длина трубы 0,12 м, толщина стенки 0,001 м.

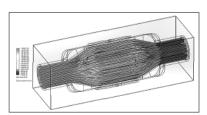


Рис. 5. Карта распределения давления модели

По карте распределения давления видно, что максимальное давление составляет 169,9 кПа (puc. 5).

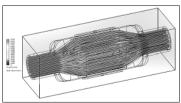


Рис. 6. Карта распределения скорости модели

По карте распределения скорости видно, что максимальная скорость на входе составляет 9,56 м/с а в области ТЭГ 6,45 м/с (puc.~6).

Результаты расчетов

Давление выхлопных газов на стенки ТЭГР ^{ТВБ} ₁₂₂ , кПа	Скорость выхлопных газов на входе в ТЭГ, м/с	Скорость выхлопных газов на выходе с ТЭГ, м/с	Скорость выхлопных газов в области ТЭГ, м/с	Средняя температура стенок ТЭГ, °С
169	9,5	8,4	6,4	500

По приведенному расчету можно сделать вывод, что создаваемое сопротивление течению выхлопных газов составляет 169 кПа и средняя температура нагрева стенок термоэлектрического генератора – $500 \, ^{\circ}$ C (maбл. 2). После выполнения теоретических расчетов собрали экспериментальный образец ТЭГ (puc. 7).



Рис. 7. Термоэлектрический генератор 1 – радиаторы жидкостного типа; 2 – теплообменник ТЭГ

В качестве силовой установки использовали лабораторный стенд, функционирующий с двигателя Д-65. Данная экспериментальная установка работает следующим образом. После запуска двигателя внутреннего сгорания циркуляционный насос начинает перекачивать охлаждающую жидкость из емкости 2 (рис. 8) в радиаторы жидкостного типа 1 (рис. 7).

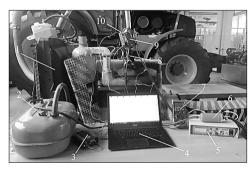


Рис. 8. Фотография экспериментальной установки: 1 - двигатель внутреннего сгорания; 2 - емкость с жидкостью; 3 - аналого-цифровой преобразователь; 4 - персональный компьютер; 5 - имитатор широтно-импульсной модуляции; 6 - импульсный насос; 7 - мультиметр; 8 - приемная труба выхлопной системы; 9 - термоэлектрический генератор; <math>10 - термопары типа «Хромель-копель»

Выхлопные газы двигателя входят в теплообменник 2 и нагревают стенки ТЭГ. Термоэлектрические генераторные модули, установленные между радиаторами и теплообменником, за счет разности температур генерируют электрическую энергию (рис. 7). Аналогово-цифровой преобразователь 3 (рис. 8) с помощью термопар 10 регистрирует изменение температуры в ключевых местах экспериментальной установки, мультиметр 7 записывает и сохраняет показания генерируемой электрической энергии ТЭГ 9. Производительность импульсного циркуляционного насоса 6 регулируется с помощью имитатора 5 широтно-импульсной модуляции.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментальных исследований представили в *таблице 3*.

Таблица 3 Результаты экспериментальных исследований

363

126

1 езулотиты экспериментильных исслеоовинии					
Напряжение в ТЭГ, В	Сила тока в ТЭГ, А	Мощность, Вт	Температура стенок ТЭГ, °С	Текущее время, с	
4,7	1,2	5,64	203	19	
6,4	1,7	10,88	225	28	
7,9	2	15,81	238	36	
9,5	2,2	20,9	250	46	
12	2,5	30	265	55	
14,6	2,8	40,88	290	64	
16,8	3,2	53,76	314	73	
19,3	3,4	65,62	332	82	
20,9	3,6	75,24	345	89	
21,7	3,7	80,29	351	102	
22,3	3,7	82,51	364	114	

Максимальная генерируемая мощность разработанного ТЭГ составила 82,14 Вт. По данным *таблицы 3* построили график (*puc. 9*). Максимальное генерируемое напряжение в ТЭГ в процессе работы экспериментальной установки составило 22,4 В.

82,14

3,7

22,2

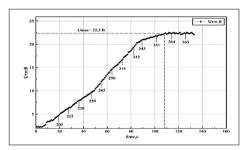


Рис. 9. График зависимости генерируемого напряжения в ТЭГ от времени работы ДВС

На временном диапазоне от 0 до 100 с работы экспериментальной установки видно, что генерируемое напряжение термоэлектрического генератора стремительно растет до отметки 21,7 B, далее значение стабилизируется до напряжения 22 В

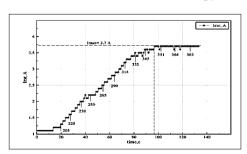


Рис. 10. График зависимости генерируемой силы тока в ТЭГ от времени работы ДВС

Максимальная сила тока термоэлектрического генератора в процессе работы экспериментальной установки составила 3,7 А.

Выводы. В ходе проведения экспериментальных исследований были получены зависимости генерируемого напряжения и силы тока ТЭГ в зависимости

от температуры теплообменника и охлаждающей жидкости. Максимальное генерируемое напряжение термоэлектрического генератора в процессе работы экспериментальной установки составило 20,4 В. Максимальная генерируемая мощность разработанного термоэлектрического генератора – 54,5 Вт.

Применение разработанного термоэлектрического генератора для рекуперации энергии отработавших газов ДВС позволяет получить дополнительный источник постоянного тока; повысить степень использования выделяющегося при сгорании топлива тепла в ДВС, тем самым частично снизить затраты топлива на привод основного генератора; обеспечить электроэнергией потребителей постоянного тока на минимальных оборотах коленчатого вала ДВС и при аварийных ситуациях, когда выходные параметры источника тока нестабильны; возможно генерирование электроэнергии в течение 5-10 мин с момента остановки двигателя.

Библиографический список

- 1. Kumar S., Heister S.D., Xu X., Salvador S., Meisner G.P. Thermoelectric generators for automotive waste heat recovery systems. Part I. Numerical modeling and baseline model analysis. Journal of Electronic Materials. 2013. Vol. 42. N4. 665-674.
- 2. Самиков Р.Ф., Неговора А.В., Нигматуллин Ш.Ф., Разяпов М.М. Теоретические и экспериментальные исследования генератора горячих газов с термоэлектрической насадкой // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. N4(57). C. 123-128.
- 3. Черноиванов В.И., Габитов И.И., Неговора А.В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта автотракторной и комбайновой техники. Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 74-81.
- 4. Самиков Р.Ф., Нигматуллин Ш.Ф., Разяпов М.М., Козеев А.А., Смольянов А.В., Галин Д.А. Повышение эффективности работы жидкостного подогревателя при предпусковой подготовке двигателя внутреннего сгорания // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. N2. С. 304-320.
- 5. Samikov R., Nigmatullin S., Gabitov I., Negovora A., Izmailov A., Razyapov M. Efficient use of energy resources of the generator of hot gases in the thermal preparation of motor vehicles. International Journal of Energy Economics and Policy. 2020. Vol. 10. N1. 228-235.
- 6. Самиков Р.Ф., Нигматуллин Ш.Ф., Козеев А.А. Расчет распределения тепловой энергии при тепловой подготовке силовых агрегатов сельскохозяйственных машин // Техническое обеспечение сельского хозяйства. 2019. N1(1). C. 73-76.
- 7. Сырбаков А.П., Речкин С.В., Бугаев П.М., Бережнов Н.Н. Оценка температурного режима работы топливоподающей системы дизельных двигателей в условиях низких температур // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Международной научно-технической конференции. 2019. С. 129-134.
- 8. Корчуганова М.А., Сырбаков А.П. Средства обеспечения пуска тракторных двигателей в условиях отрицательных температур // Вестник ИрГСХА. 2017. N80. C. 134-142.
- 9. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. N2(102). С. 45-50.
- 10. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. C. 34-37.
- 11. 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.
- 12. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в рас-

- тениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. C. 46-55.
- 13. Годжаев З.А., Ценч Ю.С., Шевцов В.Г., Лавров А.В., 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
- 14. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Ч. 1. Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: 2019. 228 с.
- 15. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // Вестник ВИЭСХ. 2018. N4 (33). С. 150-156.
- 16. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. N3(36). C. 40-45.

References

- 1. Kumar S., Heister S.D., Xu X., Salvador S., Meisner G.P. Thermoelectric generators for automotive waste heat recovery systems. Part I. Numerical modeling and baseline model analysis. Journal of Electronic Materials. 2013. Vol. 42. N4. 665-674.
- 2. Samikov R.F., Negovora A.V., Nigmatullin Sh.F., Razyapov M.M. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya generatora goryachikh gazov s termoelektricheskoy nasadkoy [Theoretical and experimental studies of a hot gas generator with a thermoelectric nozzle]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. N4(57). 123-128 (In Russian).
- 3. Chernoivanov V.I., Gabitov I.I., Negovora A.V. Tsifrovyye tekhnologii i elektronnyye sredstva v sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtotraktornoy i kombaynovoy tekhniki [Digital technologies and electronic means in the system of maintenance and repair of tractor and combine machinery]. Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. 74-81 (In Russian).
- 4. Samikov R.F., Nigmatullin Sh.F., Razyapov M.M., Kozeyev A.A., Smol'yanov A.V., Galin D.A. Povysheniye effektivnosti raboty zhidkostnogo podogrevatelya pri predpuskovoy podgotovke dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Improving the efficiency of the liquid heater during pre-start of the internal combustion engine]. Inzhenernyye tekhnologii i sistemy. 2021. Vol. 31. N2. 304-320 (In Russian).
- 5. Samikov R., Nigmatullin S., Gabitov I., Negovora A., Izmailov A., Razyapov M. Efficient use of energy resources of the generator of hot gases in the thermal preparation of motor vehicles. International Journal of Energy Economics and Policy. 2020. Vol. 10. N1. 228-235.
- 6. Samikov R.F., Nigmatullin Sh.F., Kozeyev A.A. Raschet raspredeleniya teplovoy energii pri teplovoy podgotovke silovykh agregatov sel'skokhozyaystvennykh mashin [Calculation of thermal energy distribution during thermal preparation of power units of agricultural machines]. Tekhnicheskoye obespecheniye sel'skogo khozyaystva. 2019. N1(1). 73-76 (In Russian).
- 7. Syrbakov A.P., Rechkin S.V., Bugayev P.M., Berezhnov N.N. Otsenka temperaturnogo rezhima raboty toplivopodayushchey sistemy dizel'nykh dvigateley v usloviyakh nizkikh temperatur [The temperature mode of operation of the fuel supply system of diesel engines at low temperatures]. Bezopasnost' kolesnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii: materialy 106-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2019. 129-134 (In Russian).
- 8. Korchuganova M.A., Syrbakov A.P. Sredstva obespecheniya puska traktornykh dvigateley v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur [Means of ensuring the start of tractor engines in temperatures below zero]. Vestnik IrGSKhA. 2017. N80. 134-142 (In Russian).
- 9. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intellektual'naya sistema diagnostirovaniya parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [In-

telligent system for diagnosing parameters of the technical condition of agricultural machinery]. Agroinzheneriya. 2021. N2(102). 45-50 (In Russian).

- 10. 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. N8. 34-37 (In Russian).
- 11. 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).
- 12. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
- 13. Godzhaev Z.A., Tsench Yu. S., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (prognoz) [Strategy of russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4(137). 220-229 (In Russian).
- 14. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya predpriyatiy agropromyshlennogo kompleksa [Innovative system of machine and technological support of agro-industrial enterprises]. Part. 1. Innovatsionnaya sistema mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya sel'sko-khozyaystvennykh predpriyatiy na dlitel'nuyu perspektivu. Moscow: 2019. 228 (In Russian).
- 15. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of advanced machine technologies and machinery in agricultural production]. Vestnik VIESH. 2018. N4(33). 150-156 (In Russian).
- 16. 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 elektrooborudovanie v APK. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Самиков Р.Ф. — подготовка текста, анализ литературных данных; Нигматуллин Ш.Ф. — научное руководство, анализ и доработка текста; Козеев А.А. — подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста;

Разяпов М.М. – научное руководство, анализ и доработка текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Samikov R.F. – writing the manuscript, analysis of literary data; Nigmatullin Sh.F. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Kozeev A.A. – preparation and analysis of literary data, editing the manuscript; Razyapov M.M. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript. All authors have read and approved the final manuscript.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ КРАТКОСРОЧНОЙ АРЕНДЫ (ПРОКАТА) СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

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

Реферат. В работе представили научно-практическое обоснование возможностей эффективного использования механизма краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственной техники. (Цель исследования) Проанализировать обеспечение агропромышленного комплекса сельскохозяйственной техникой и раскрыть суть проблемы организации механизма краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственных машин. (Материалы и методы) Указали, что техническая оснащенность агропромышленного комплекса остается до настоящего времени на уровне 60-65 процентов от нормативной потребности. Отметили, что, по данным департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза $P\Phi$, на первое января 2020 года необходимость приобретения только энергонасыщенной сельскохозяйственной техники составляет: тракторов 70 тысяч, зерноуборочных комбайнов 38 тысяч, кормоуборочных комбайнов 3 тысячи. Использование механизма краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственной техники позволит улучшить обеспечение техникой, особенно в периоды напряженных сельскохозяйственных работ (посевные, уборка). (Результаты и обсуждение) Проведенный анализ и расчеты экономической эффективности показали возможности использования этого вида пополнения машинно-тракторного парка для всех категорий сельхозтоваропроизводителей. Выявили, что он будет представлять интерес по линии финансовых затрат (арендная плата), налоговых и амортизационных льгот при проведении операции краткосрочной аренды сельскохозяйственной техники. (Выводы) В результате проведенных исследований пришли к выводу, что организация в агропромышленном комплексе России краткосрочной аренды (проката) сельхозтехники, особенно в условиях масштабных экономических санкций со стороны стран ЕС, США и Канады, будет служить эффективной мерой по обеспечению машинно-тракторного парка.

Ключевые слова: прокат, аренда, лизинг, сельскохозяйственная техника, арендатор, арендодатель, сельхозтоваропроизводитель.

Для цитирования: Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А. Научно-практическое обоснование организации краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 39-47. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-39-47. TIRLPH.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JUSTIFICATION OF THE SHORT-TERM LEASE OF AGRICULTURAL MACHINERY

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

Abstract. The paper presents a scientific and practical justification of the possibilities of short-term lease (rental) of agricultural machinery. (Research purpose) The research purpose is analyzing the provision of agricultural machinery to the agro-industrial complex and to reveal the essence of the problem of organizing a mechanism for short-term rental of agricultural machinery. (Materials and methods) Indicated that the technical equipment of the agro-industrial complex remains at the level of 60-65 percent of the regulatory requirement to date. According to the Department of Crop Production, Mechanization, Chemicalization and Plant Protection of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, as of January 1, 2020, the need to purchase only energy-saturated agricultural machinery is: tractors 70 thousand, combine harvesters 38 thousand, forage harvesters 3 thousand. The use of the mechanism of short-term lease of agricultural machinery will improve the provision of equipment, especially during periods of intense agricultural work (sowing, harvesting), (Results and discussion) The analysis and calculations of economic efficiency have shown the possibility of using this type of replenishment of the machine and tractor fleet for all categories of agricultural producers. It will be of interest in terms of financial costs (rent), tax and depreciation benefits during the operation of short-term lease of agricultural machinery. (Conclusions) As a result of the conducted research, it was concluded that the organization of short-term rental (rental) of agricultural machinery in the agro-industrial complex of Russia, especially in the face of largescale economic sanctions from the EC countries, the USA and Canada, will serve as an effective measure to ensure the machine and tractor fleet.

Keywords: rental, lease, leasing, agricultural machinery, tenant, landlord, agricultural producer.

For citation: Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A. Nauchno-prakticheskoye obosnovaniye organizatsii kratkosrochnoy arendy (prokata) sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Scientific and practical justification of the short-term lease of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 39-47 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-39-47. TIRLPH.

Введение. Положение с технической оснащенностью АПК остается сложным, количество тракторов, используемых в сельскохозяйственных организациях, составляет 447 тыс. ед., а зерноуборочных комбайнов — 125 тыс. ед., т. е. 65-70% от нормативной потребности. Что касается остальной номенклатуры сельскохозяйственной техники (СХТ) (почвообрабатывающая техника, культиваторы, посевные комплексы, машины для внесения удобрений и т. д.), уровень их нормативной потребности составляет 55-60%. Общая дополнительная потребность по всем видам СХТ в соответствии с нормативной потребностью составляет около 170 тыс. ед. [1-3].

Такая ситуация особенно болезненно сказывается на средних и слабых сельхозпредприятиях, которые не имеют возможности приобретать современную высокоэффективную энергонасыщенную технику. Существующая система лизинговых поставок техники на федеральном и региональном уровнях занимает примерно 25-30% от общего объема, но как показал многолет-

ний опыт – эта система не в состоянии решить полностью данную проблему, основные причины: необходимость банковской гарантии, залоговые обязательства, удорожание от первоначальной цены и т. д. [4]. Приведенные факторы дают основание искать наиболее оптимальные и реальные решения по обеспечению машинно-тракторного парка (МТП). Как показали результаты проведенных исследований, в ряде сельскохозяйственных регионов использование механизма краткосрочной аренды (проката) служит одним из эффективных решений укрепления технической оснащенности АПК. Состав СХТ, которую арендодатель может предложить арендатору, представляет большую линейку машин как отечественного, так и зарубежного производства, которые в первую очередь представляют интерес для сельхозтоваропроизводителя в период напряженных сельскохозяйственных работ. Для сильных хозяйств, холдингов будет интересна краткосрочная аренда (прокат) энергонасыщенной техники, имеющей высокие эксплуатационные показатели. Примерный перечень указанной техники представлен в *таблицах 1*, 2.

Таблица 1 Энергонасыщенные тракторы отечественных и зарубежных производителей, эксплуатирующиеся в АПК

	Фирма-производитель, модель									
Показатели	Challen- ger MT 875 S	Case IH Quadtrac 535	John Deere 630	New Holland T9060	Fendt Vario 936 Profi	Case IH Magnum 235	Кировец К-7М			
Мощность, л/с	570-610	540-600	530-580	540-600	330-360	340-370	300-428			
Модель	CAT	Cummins	John Deere	Cummins	Deutz	Case IH	TM3- 8481.10-11			
Рабочий объем, л.	18,1	15,0	13,5	15,0	7,1	9,0	17,24			
Максимальная скорость, км\ч	40	30	40	50	60	50	32,1			
Масса, т	19,5	24,2	19,3	18,9	10,4	13,4	18			

Таблица 2 Зерноуборочные комбайны российского и зарубежного производства

Отечественные				Зарубежные					
Показатели	РСМ-101 «Вектор»	РСМ-142 «Акрос-530»	PCM-181 «Topym 740»	Mega 360 Class	Lexion 580 Class	DD9510 Maximaiser	0296QQ	Case 2388	New Holland TS-56
Мощность двигателя, кВт	143	182	294	170	316	162	224	220	177
Тип молотилки	Барабан	Барабан	Аксально- роторная	Барабан	Барабан	Барабан	Аксально- роторная	Аксально- роторная	Барабан
Ширина молотилки, мм	1200	1500	3316	1320	1700	1400	3130	2790	1305
Диаметр барабана, мм	800	800	762	450	600	660	750	762	606
Тип очистки	Двухрешетная	Дву хрешет-ная	Двухрешетная	Двухрешетная	Двухрешетная	Двухрешетная	Двухрешетная	Двухрешетная	Двухрешетная

Продолжение таблицы								цы 2	
Вместительность бункера, м ³	5,0	9,0	10,0	6,2	10,5	8,0	10,6	7,38	5,2
Транспортная скорость, км/ч	20,0	20,0	20,0	20,0	35,0	35,0	35,0	33,0	33,0
Масса, т	10,5	14,3	17,2	11,9	16,5	10,9	14,8	9,5	9,7

Цель исследования — проанализировать обеспечение агропромышленного комплекса сельскохозяйственной техникой и раскрыть суть проблемы по организации механизма краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственных машин.

Материалы и методы. Взаимодействие предприятий АПК при проведении операций краткосрочной аренды (проката) СХТ представили на *рисунке*.

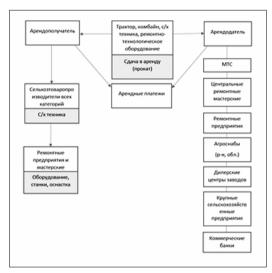


Рис. Взаимодействие основных участников операций аренды (проката) СХТ

Как видно из представленной схемы, в роли арендодателя могут выступить машинно-технологические станции, ремонтные и сервисные предприятия и мастерские, сельхозтоваропроизводители, коммерческие структуры, включая банки (владеющие собственной техникой), дилерские центры заводов-изготовителей. В роли арендополучателей выступают сельхозтоваропроизводители всех категорий. Основные положения по правовому регулированию договорных отношений между арендодателем и арендатором формируются следующим образом:

- по договору проката арендодатель, осуществляющий сдачу СХТ в аренду в качестве постоянной предпринимательской деятельности, обязуется представить арендатору СХТ за плату во временное пользование [5];
- договор проката представляет собой публичный договор; это означает, что арендодатель не в праве оказывать предпочтение одному лицу или другим в отношении заключения договора [6];
 - договор проката не может носить характер бессрочного обязательства;
 - арендатор вправе в любое время отказаться от договора проката [7];
- по договору проката арендодатель должен при заключении договора проверить техническое состояние сдаваемой техники, если же недостатки вызваны нарушением арендатором правил эксплуатации СХТ, то арендатор обязан возместить расходы по ремонту и транспортировке [8, 9];
- по договору проката предусмотрена упрощенная процедура взыскания с арендатора задолженности по арендной плате [10];
 - арендатор часто сталкивается с необходимостью продления договора

проката, в этих случаях требования арендатора должны удовлетворяться [11].

Структура типового договора аренды (проката) СХТ включает в себя следующие разделы: предмет договора; арендная плата; срок действия договора; права и обязанности сторон; порядок сдачи техники арендатору и порядок передачи техники арендодателю; гарантии арендодателю; ответственность арендатора; порядок разрешения споров, изменения и расторжения договора; форс-мажор; заключительные положения; адреса и реквизиты сторон.

Функции получения налоговых и амортизационных льгот имеют следующие особенности:

- взятая по аренде (прокату) СХТ не может отражаться на балансе арендатора, поскольку право собственности сохраняется за арендодателем;
- арендные платежи относятся на себестоимость производимой продукции, что соответственно снижает налогооблагаемую прибыль;
- применение ускоренной амортизации, исчисляемой не на базе срока службы объекта проката, а исходя из срока договора, снижает облагаемую прибыль и ускоряет обновление техники.

Результаты и обсуждение. Экономическая целесообразность широкомасштабного внедрения краткосрочной аренды (проката) СХТ, особенно энергонасыщенной, очевидна в сложившейся ситуации в настоящее время, когда страны ЕС, Англия, США и Канада ввели экономические санкции, которые прежде всего касаются поставок зарубежной сельскохозяйственной техники, а в составе МТП России эта техника составляет более 30% [12-14].

Важной проблемой при передаче техники в аренду (прокат) без изменения потребительских свойств служит вопрос определения арендной платы. Проведенные более чем в 50 агрохозяйствах исследования движения и реализации сельскохозяйственной техники в республике Башкортостан, Краснодарском крае, Рязанской и Воронежской областях предполагают, что величина арендной платы зависит от следующих основных факторов: стоимости машины, в т. ч. и остаточной, рыночной цены в период оформления договора, срока амортизации, состояния, технической готовности и др. Отметим, что факторы определения арендной платы распространяются и на модернизированную СХТ, которая также будет представлять интерес для экономически слабых и средних агрохозяйств в плане краткосрочной аренды (проката). Для облегчения уровня определения арендной платы по результатам проведенных исследований предлагаем для практического использования расчетные нормативы. По каждому виду техники дан диапазон цен, в котором отражается совокупное состояние стоимости конкретной машины, передаваемой в аренду (прокат) (табл. 3).

Способы определения эффективности проведения краткосрочной аренды (проката) СХТ:

- определяем объем продукции растениеводства Q_a , произведенный с участием техники, переданной в краткосрочную аренду за определенный период (месяц, год):

$$Q_a = Q_{y\partial} \cdot N_a \cdot K_n \cdot K_y$$
, py6.,

где Q_a – объем продукции растениеводства, произведенный арендатором за определенный период (месяц, год);

 N_a — количество тракторов и комбайнов, переданных в краткосрочную аренду за определенный период (месяц, год);

 K_n – коэффициент, учитывающий повышение производительности техники;

 K_y – средневзвешенный поправочный коэффициент, учитывающий соотношение коэффициента готовности новых и старых тракторов и комбайнов.

Нормативы, определяющие величину арендной платы за прокат СХТ*

Виды сельскохозяйствен-	Срок аренды в месяцах и стоимость арендной платы в % от цены машины								
ной техники и ее цена	3 месяца	3 месяца 6 месяцев		12 месяцев					
Тракторы									
От 0,5 до 1,0 млн руб.	3,25-3,9	4,55-5,2	5,85-7,02	7,54-8,19					
От 1,0 до 3,0 млн руб.	2,6-3,25	3,9-4,55	5,46-6,5	6,76-7,8					
От 3,0 до 5,0 млн руб.	1,95-2,6	2,86-3,64	3,9-4,94	5,2-6,24					
От 5,0 и выше млн руб.	1,56-2,95	2,08-2,34	2,6-3,12	3,25-3,77					
Комбайны зерноуборочные									
От 1,5 до 2,0 млн руб.	2,34-2,86	3,25-3,64	3,9-4,68	4,94-5,85					
От 2,0 до 3,5 млн руб.	1,95-2,34	2,6-3,25	3,51-4,16	4,42-4,94					
От 3,5 до 5,0 млн руб.	1,56-1,95	2,21-2,6	2,99-3,64	3,9-4,42					
От 5,0 и выше млн руб.	1,3-1,82	1,95-2,34	2,6-3,12	3,25-3,64					
	Сельскохозяйственные машины								
От 0,15 до 0,35 млн руб.	4,94-5,85	6,5-8,45	9,1-10,4	11,05-14,3					
От 0,35 до 0,5 млн руб.	4,55-5,2	5,46-6,5	6,89-8,84	9,1-11,05					
От 0,5 до 1,2 млн руб.	3,64-4,55	4,68-5,85	6,24-7,54	7,8-9,36					
От 1,2 до 2,0 млн руб.	2,86-3,9	4,55-5,46	5,85-6,76	7,02-8,19					
От 2,0 и выше млн руб.	1,95-2,34	2,86-4,42	4,94-5,85	5,85-7,28					

^{*}Примечание: в указанный диапазон всех видов СХТ входит также и модернизированная техника, в т. ч. энергонасыщенная (тракторы, комбайны), имеющая уровень технической готовности не менее 90-95%.

Удельный объем продукции вычисляем по формуле:

$$Q_{\rm уд} = \frac{Q_{\rm сумм}}{N_{\rm C}}$$
 руб,

где Q_{cymm} – суммарный объем продукции растениеводства;

 N_c – суммарное наличие тракторов и комбайнов, ед.

Определяем размер площадей, обработанных техникой, переданной в краткосрочную аренду:

$$S_{ai} = N_{ai} \cdot H_i \cdot K_n \cdot K_{an}$$
, ra,

где i – индекс, обозначающий вид техники (тракторы, комбайны, и т. д.);

 S_i – площадь, обработанная машинами *i-го* вида, га;

 N_{ai} – количество машин *i-го* вида, переданных в краткосрочную аренду, ед.;

 K_{zz} – среднее значение коэффициента готовности техники;

 H_i – средняя фактическая нагрузка на одну машину *i-го* вида, га; определяемая по формуле:

$$H_i = \frac{HH_{ui}}{K_{obj}}$$
, Γa ,

где H_{Hi} – нормативная нагрузка на одну машину i-го вида, га;

 $K_{o 6 i}$ — коэффициент обеспеченности техникой i-го вида, определяется по формуле:

$$K_{\text{of}\,i} = \frac{N_i}{N\!H_i}$$
 ,

где N_i – наличие машин *i-го* вида, ед;

 NH_i – нормативная потребность машин *i-го* вида, ед.

Таким образом, эффективность использования краткосрочной аренды в растениеводстве характеризуется следующими показателями:

$$\Im_{ap} = \frac{Q_a}{C_{cymm}}$$
, py6.,

где Θ_{ap} – фактическая эффективность, выраженная отношением объема продукции на каждый рубль арендополучателя, вложенный в краткосрочную аренду для растениеводства, руб./руб.;

 $C_{\text{сумм}}$ — суммарные затраты средств аренды получателя на аренду техники в растениеводстве, руб.

Срок t_{ok} окупаемости финансовых средств арендополучателя оценивается как величина, обратная эффективности аренды за определенный период (месяц, год):

$$t_{ok} = \frac{1}{\mathfrak{I}_{ap}}$$
, месяц, год.

Успешная реализация механизма краткосрочной аренды (проката) сельскохозяйственных машин возможна при наличии информационной базы на региональном и межрегиональном уровнях. Эта база должна отражать основные технические и экономические параметры СХТ, которая могла бы находится в организационно-правовом поле механизма краткосрочной аренды (проката).

Выводы. Используя разработанные нормативы, можно легко определить величину арендной платы как по дорогостоящей энергонасыщенной техники (комбайн, трактор), так и по другим видам сельскохозяйственных машин (сеялка, культиватор, плуг, дискатор и др.). Так, например, годовая арендная плата по энергонасыщенной техники составит — 300-350 тыс. руб., по прицепной технике 80-100 тыс. руб. Такие затраты вполне по плечу экономически слабым и средним агрохозяйствам, поэтому развитие этого вида услуг имеет большие перспективы.

Библиографический список

- 1. Бурак П.И., Голубев И.Г., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Гольтяпин В.Я. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2019. 152 с.
- 2. Алексеева Н.А. Сельскохозяйственное машиностроение: состояние, проблемы, перспективы развития отрасли // Вестник Удмуртского университета. 2019. Т. 29. N5. C. 557-563.
- 3. Черноиванов В.И. Модернизация инженерно-технической системы сельского хозяйства. М.: Росинформагротех. 2010. 412 с.
 - 4. Горемыкин В.А. Основы технологий лизинговых операций. М.: Ось-89. 2000. 512 с.
- 5. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 N14-ФЗ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022), ст. N 626 «Договор проката».
- 6. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от $30.11.1994~N51-\Phi 3$ (ред. от 21.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022), ст. N 445 «Заключение договора в обязательном порядке».
- 7. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 $N14-\Phi3$ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022), ст. N 610 «Срок договора аренды».
- 8. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 N14-ФЗ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022), ст. N 628 «Предоставление имущества арендатору».
- 9. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 N14-Ф3 (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с

- 01.01.2022), ст. N 629 «Устранение недостатков сданного в аренду имущества».
- 10. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 N14-ФЗ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022), ст. N 630 «Арендная плата по договору проката».
- 11. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 N14- Φ 3 (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022), ст. N 627 «Срок договора проката».
- 12. 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.
- 13. Дорохов А.С. Качество машиностроительной продукции: реальность и перспективы // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2005. N8. C. 2-4.
- 14. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Экономическая эффективность входного контроля качества сельскохозяйственной техники // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2009. N7(38). C. 15-17.

References

- 1. Burak P.I., Golubev I.G., Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Gol'tyapin V.Ya. Sostoyaniye i perspektivy obnovleniya parka sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The state and prospects of updating the agricultural machinery fleet]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 152 (In Russian).
- 2. Alekseyeva N.A. Sel'skokhozyaystvennoye mashinostroyeniye: sostoyaniye, problemy, perspektivy razvitiya otrasli [Agricultural engineering: the state, problems, prospects for the development of the industry]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. 2019. Vol. 29. N5. 557-563 (In Russian).
- 3. Chernoivanov V.I. Modernizatsiya inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy sel'skogo khozyaystva [Modernization of the engineering and technical system of agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2010. 412 (In Russian).
- 4. Goremykin V.A. Osnovy tekhnologiy lizingovykh operatsiy [Fundamentals of leasing]. Moscow: Os'-89, 2000. 512 (In Russian).
- 5. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 626 «Dogovor prokata» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 626 "Rental agreement"] (In Russian).
- 6. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' pervaya) ot 30.11.1994 N 51-FZ (red. ot 21.12.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.03.2022), st. N 445 «Zaklyucheniye dogovora v obyazatel'nom poryadke» [The Civil Code of the Russian Federation (Part one) of 30.11.1994 N 51-FZ (ed. of 21.12.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.03.2022), art. N 445 "Conclusion of the contract is mandatory"] (In Russian).
- 7. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast'vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 610 «Srok dogovora arendy» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 610 "Term of the lease agreement"] (In Russian).
- 8. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 628 «Predostavleniye imushchestva arendatoru» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from

- 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 628 "Provision of property to the tenant"] (In Russian).
- 9. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 629 «Ustraneniye nedostatkov sdannogo v arendu imushchestva» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 629 "Elimination of deficiencies of leased property"] (In Russian).
- 10. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 630 «Arendnaya plata po dogovoru prokata» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 630 "Rent under the rental agreement"] (In Russian).
- 11. Grazhdanskiy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast'vtoraya) ot 26.01.1996 N 14-FZ (red. ot 01.07.2021, s izm. ot 08.07.2021) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2022), st. N 627 «Srok dogovora prokata» [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two) of 26.01.1996 N 14-FZ (ed. of 01.07.2021, with amendments. from 08.07.2021) (with amendments and additions, intro. effective from 01.01.2022), art. N 627 "Term of the rental agreement"] (In Russian).
- 12. 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).
- 13. Dorokhov A.S. Kachestvo mashinostroitel'noy produktsii: real'nost' i perspektivy [Quality of engineering products: reality and prospects] Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. 2005. N 8. 2-4 (In Russian).
- 14. Semeykin V.A., Dorokhov A.S. Ekonomicheskaya effektivnost' vkhodnogo kontrolya kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universitet imena V.P. Goryachkina. 2009. N7.(38). 15-17 (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.

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 studies, data processing.

All the authors have read and approved the final manuscript.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИЯХ

1,2 Игорь Николаевич Кравченко, доктор технических наук, профессор, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru;
3 Евгения Владимировна Кулакова, кандидат технических наук, доцент;
3 Ирина Владимировна Алибекова, кандидат технических наук, доцент;
4 Юлия Викторовна Величко, кандидат педагогических наук, доцент;
1 Серик Кокибаевич Тойгамбаев, доктор технических наук, профессор
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 Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация
4 Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, Российская Федерация

Реферат. В исследовании охарактеризовали методы комплексной оценки эффективности работы по безопасности труда на производстве, разработали механизмы анализа и контроля выявления отклонений по охране труда в производственной деятельности организаций с целью разработки и реализации мероприятий для их устранения. (Цель исследования) Разработать механизм оценки, анализа и контроля выявления отклонений по охране труда в производственной деятельности предприятий. (Материалы и методы) Предложили в качестве критериев оценки работы по охране труда коэффициент опасности, приведенный коэффициент опасности, коэффициент приведения. Разработали валидные тесты для оценки санитарно-гигиенических показателей, травмоопасности, эффективности применения средств индивидуальной защиты и организации работ по охране труда. Рекомендовали в качестве условий реализации механизмов безопасности профессиональной деятельности создание специальной комиссии, в которую должны входить специалисты различных профессиональных сфер. Определили, что существующий интегральный показатель для оценки рисков не учитывает потери рабочего времени, обусловленные заболеваниями с временной утратой трудоспособности и снижением уровня работоспособности при работе в неблагоприятных условиях. Для более объективного учета этих потерь изучили и представили критерий интегральной оценки работоспособности. (Результаты и обсуждение) Рассчитали интегральный показатель профессионального риска с учетом частоты и тяжести травматизма несчастного случая, смертельного случая, профзаболеваний, заболеваний с временной утратой трудоспособности. Внедрили органолептическую балльную оценку показателей условий труда, на основании которой введено шесть категорий вредности (тяжести) труда. (Выводы) Установили, что предлагаемый метод интегральной оценки тяжести труда позволяет определить эффективность работы по обеспечению безопасности и учесть потери из-за травматизма и профзаболеваний, а также потери, связанные со снижением работоспособности и временной утратой трудоспособности.

Ключевые слова: профессиональные заболевания, условия труда, безопасность, профессиональный риск, деятельность по охране труда.

Для цитирования: Кравченко И.Н., Кулакова Е.В., Алибекова И.В., Величко Ю.В., Тойгамбаев С.К. Методы оценки условий и безопасности труда в организациях // Технический сервис машин. 2023. Т. 61 . N1(150). С. 48-56. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-48-56. UCFOXE.

METHODS FOR ASSESSING WORKING CONDITIONS IN ORGANIZATIONS

1,2Igor N. Kravchenko, Dr.Sc.(Eng.), professor;

2Evgeniya V. Kulakova, Ph.D.(Eng.), associate professor;

2Irina V. Alibekova, Ph.D.(Eng.), associate professor;

3Yuliya V. Velichko, Ph.D.(Ped.), associate professor;

1Serik K. Toygambaev, Dr.Sc.(Eng.), professor

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

2Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravova
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

3Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation

4National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev, Saransk,
Republic of Mordovia, Russian Federation

Abstract. The paper characterizes the methods of comprehensive assessment of the effectiveness of work on safety, describes mechanisms for analyzing and monitoring the identification of deviations in occupational safety in the production activities of organizations in order to develop and implement measures to eliminate them. (Research purpose) The research purpose is developing a mechanism for assessing, analyzing and controlling the identification of labor protection deviations in the production activities of enterprises. (Materials and methods) The article describes the hazard coefficient, and the reduction coefficient as criteria for evaluating work on labor protection. We have developed valid tests to assess sanitary and hygienic indicators, injury risk, the effectiveness of the use of personal protective equipment and the organization of work on labor protection. The creation of a special commission is recommended, which should include specialists from various professional fields, as conditions for the implementation of professional safety mechanisms. The existing integral indicator for risk assessment does not take into account the loss of working time caused by diseases with temporary disability and a decrease in the level of efficiency when working in adverse conditions. For a more objective accounting of these losses, we studied and presented the criterion of an integral assessment of operability. (Results and discussion) An integral indicator of occupational risk was calculated taking into account the frequency and severity of injuries of an accident, a fatal accident, occupational diseases, diseases with temporary disability. We have implemented an organoleptic scoring assessment of indicators of working conditions, on the basis of which six categories of harmfulness (severity) of work have been introduced. (Conclusions) The proposed method of integral assessment of the severity of labor makes it possible to determine the effectiveness of work to ensure safety and to take into account losses due to injuries and occupational diseases, as well as losses associated with a decrease in working capacity and temporary disability.

Keywords: accident, occupational diseases, working conditions, safety, occupational risk, occupational safety activities.

For citation: Kravchenko I.N., Kulakova E.V., Alibekova I.V., Velichko Yu.V., Toygambaev S.K. Metody otsenki usloviy i bezopasnosti truda v organizatsiyakh [Methods for assessing working conditions and in organizations]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 60. N1(150). 48-56 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-48-56. UCFOXE.

Введение. В настоящее время в условиях стремительного развития техносферы наблюдается увеличение числа различных опасных ситуаций, которые в свою очередь приводят к различным травмам и профзаболеваниям. В связи с этим возникает необходимость разработки комплексных мероприятий по обеспечению безопасной и безаварийной работы, а также улучшению условий труда работников [1-3].

Каждую секунду на земном шаре в рамках выполнения производственных задач травмируется 4 человека и каждые 3 минуты один из них получает смертельную травму. Во всем мире насчитывается около 500 млн инвалидов, причем каждый пятый стал инвалидом в результате несчастного случая. Производственные потери, связанные с несчастными случаями на производстве, а также с возникновением и развитием профессиональных заболеваний, весьма велики. При этом экономический ущерб от подобных потерь составляет порядка 6-10 млрд руб. в год [4, 5].

Выполнение трудовых обязанностей практически в любой сфере деятельности связано с определенными профессиональными рисками. Согласно Трудовому кодексу РФ под профессиональным риском понимается вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных или опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим Кодексом, другими федеральными законами. Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливает федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений.

Под несчастным случаем на производстве понимается механическое повреждение участков тела человека внешним воздействием на работающего опасного производственного фактора (острые, режущие, вращающиеся части оборудования, падение с высоты и др.) при выполнении им трудовых обязанностей. В отличие от профессиональных заболеваний, при которых нарушение нормального функционирования систем организма человека происходит в результате длительного воздействия вредных производственных факторов, причем для несчастного случая характерна внезапность, и, как результат, производственная травма или даже летальный исход.

О состоянии безопасности труда в любой организации можно судить, исходя из данных результатов изучения материалов расследования несчастных случаев и отчетных данных о несчастных случаях. Это необходимо для разработки и осуществления мероприятий по предупреждению травматизма.

Реализуемый в настоящее время принцип профилактики травматизма на основе устранения его причин, которые отражены в актах H-1, не приносит положительных результатов. Анализ результатов исследований показывает, что в 45-90 случаях на 100 выявленных причин меры для их устранения в актах H-1 не значатся и только в 2-30 случаях они соответствуют выявленным причинам [6, 7].

В связи с этим профилактическая деятельность по факту составляет от 1 до 15% от необходимой. Неблагоприятные факторы на производстве вызывают также заболевания с временной утратой трудоспособности. Так, помимо экономи-

ческой составляющей (недополученная прибыль, оплата больничных листов, медицинское обслуживание и т. д., а в некоторых случаях реабилитационные мероприятия), являясь массовыми, они приводят к потере работоспособности, исчисляемой миллионами человеко-дней в год. Вредные факторы также способствуют трудовым потерям из-за снижения работоспособности и увеличения количества дополнительных неустановленных перерывов за смену, продолжительность которых может составлять до 45% рабочего времени (*табл.*) [8, 9].

Отметим, что экономический ущерб от снижения работоспособности на порядок выше, чем потери от травматизма и профзаболеваемости, так как неблагоприятные факторы без принятия соответствующих мер могут действовать ежедневно на работника, а случаи возникновения травм и профзаболеваний сравнительно редки. Поэтому важным элементом совершенствования условий труда служит мониторинг условий и безопасности труда, на основе которого разрабатываются и внедряются в производство комплексные мероприятия по их улучшению [5, 10].

Таблица Потери рабочего времени вследствие неблагоприятных факторов

Факторы производственной среды	Дополнительное время на отдых, % от оперативного			
Физические усилия от незначительных до очень тяжелых	1-9			
Нервное напряжение	1-5			
Высокий темп работы	1-4			
Неудобное рабочее положение	1-4			
Монотонность работы	1-3			
Неблагоприятные микроклиматические условия	1-5			
Загрязненность воздуха	1-5			
Шум	1-4			
Вибрация (повышенная, сильная, очень сильная)	1-4			
Недостаточная или чрезмерная освещенность	1-2			
Итого	10-45			

Цель исследования — разработать механизм оценки, анализа и контроля выявления отклонений по охране труда в производственной деятельности предприятий. Для проведения эффективной работы с целью обеспечения безопасности в любой организации предлагается следующий механизм: необходимо требовать от сотрудников строгого выполнения требований правил и инструкций по охране труда и проводить регулярный анализ и контроль выявленных отклонений.

Материалы и методы. В качестве критериев оценки работы по охране труда выделим следующие элементы. Коэффициент опасности определяется отношением числа выявленных нарушений к общему числу позиций, подлежащих оценке. Число позиций может увеличиваться, уменьшаться или полностью исключаться в зависимости от полученных результатов или потери значимости. Данный коэффициент допустимо применять для оценки опасности в однородных подразделениях. Приведенный коэффициент приведения. Применяется умножением коэффициента опасности на коэффициент приведения. Применяется для оценки разнородных подразделений. Коэффициент приведения определяется отношением среднего числа выявленных нарушений от норм и правил охраны труда по организации в целом к числу контролируемых позиций в подразделении. Для выполнения данной работы следует сформировать комиссию, в которую необходимо включить представителей

работников, администрации, а также специалиста по охране труда. Возможно привлечение также экспертов, которые занимаются обучением и аттестацией персонала по охране труда. Одно из главных условий работы данной комиссии — объективность и гласность подведения итогов своей деятельности. Комиссия может изменять число позиций как в сторону увеличения, так и уменьшения, что сообщается во время очередного обсуждения результатов работы. Все подразделения организации необходимо регулярно информировать о результатах работы, положительных и отрицательных изменениях. Главной целью указанных мероприятий служит повышение безопасности за счет соблюдения требований законодательных актов, правил и инструкций по охране труда. В настоящее время существуют несколько подходов для оценки параметров условий труда и профессиональных рисков [11, 12].

Это приборная оценка условий труда, экспертная оценка травмоопасности, а также статистический метод и методы медицинского мониторинга. Однако основной процедурой, обеспечивающей мониторинг условий и безопасности труда с последующими рекомендациями для их улучшения, служит специальная оценка условий труда (СОУТ) — единый комплекс последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных норм. Специальную оценку работодатели должны были организовывать каждые пять лет, однако в связи с последними изменениями в настоящее время этого можно не делать в отношении рабочих мест, которые полностью соответствуют требованиям охраны труда и задекларированы.

Бессрочное действие декларации СОУТ перестает действовать в случаях, если с работником произошел несчастный случай, выявлено профзаболевание или проведена проверка государственной инспекцией труда и выявлены какие-либо нарушения. Для регулярной оценки условий труда работников предлагается методика анкетирования с последующей балльной оценкой показателей условий труда. При этом в качестве контролера параметров условий труда выступает сам работник, непосредственно вовлеченный в рабочий процесс и отслеживающий все его особенности.

Нами разработаны валидные тесты, представленные четырьмя анкетами, которые содержат от 11 до 20 вопросов. Первая анкета служит для оценки санитарно-гигиенических показателей, вторая — травмоопасности, третья — эффективности применения средств индивидуальной защиты, четвертая — организации работ по охране труда в организации.

Для расчета согласованности мнения экспертов, которыми являются начальники участков, мастера и опытные работники с достаточным стажем, используется коэффициент конкордации, достоверность которого рассчитывается по критерию Пирсона χ^2 . При этом итоговый балл соответствует определенному классу условий труда [5, 13].

Существующий в настоящее время интегральный показатель для оценки рисков не учитывает потери рабочего времени, обусловленные заболеваниями с временной утратой трудоспособности и снижением уровня работоспособности при работе в неблагоприятных условиях.

Результаты и обсуждение. Предлагаем расчет интегрального показателя профессионального риска, который учитывает не только потери из-за травматизма и профзаболеваемости, но и связанные со снижением работоспособности и временной утратой трудоспособности:

$$P_{np} = \frac{(K_{\text{H.H.c.}} + K_{\text{H.m.s.}} + K_{\text{H.ByT}} + K_{\text{инт}})}{230},$$
(1)

где $K_{n.n.c.}$; $K_{n.c.w}$; $K_{n.n.s.}$; $K_{n.s.ym}$ — соответственно коэффициенты нетрудоспособности связанные с несчастными случаями, смертельными случаями, профзаболеваниями, заболеваниями с временной утратой трудоспособности;

 K_{unm} – интегральный показатель работоспособности.

$$K_H = K_{\nu} \cdot K_T, \tag{2}$$

где K_{u} – коэффициент частоты травматизма несчастного случая, смертельного случая, профзаболеваний, заболеваний с временной тратой трудоспособности;

 K_T – коэффициент тяжести несчастного случая, профзаболеваний, заболеваний с временной тратой трудоспособности.

При расчете $K_{n.см}$ применяется $K_{m.см}$, так называемый условный коэффициент тяжести смертельного случая, по рекомендации МОТ он равен 6,5 тыс. дней. Любые неблагоприятные условия труда предполагают ту или иную степень тяжести работы. Под тяжестью работы понимается мера совокупного воздействия всех неблагоприятных элементов, составляющих условия труда и влияющих на здоровье и работоспособность человека. При оценке вредности труда учитываются те элементы условий труда, которые реально воздействуют на человека на данном рабочем месте.

Интегральная бальная оценка тяжести труда U_m , рассчитывается по формуле:

$$M_{\tau} = \left[x_{onp} + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \frac{6 - x_{onp}}{(n-1) \cdot 6} \right) \right] \cdot 10^{\circ}$$
(3)

где x_{onp} — элемент условий труда, получивший наивысшую количественную оценку, баллов;

 $\sum_{i=1}^{n} x_i$ — сумма количественной оценки биологически активных элементов условий труда без x_{onp} ;

n – количество учитываемых элементов условий труда.

На основе бальной оценки введено шесть категорий вредности (тяжести) труда: для первой категории $U_{\rm T}$ < 18 , для второй $U_{\rm T}$ = 18-33, для третьей $U_{\rm T}$ = 33,1-45, для четвертой $U_{\rm T}$ = 45,1-53, для пятой $U_{\rm T}$ = 53,1-58, для шестой $U_{\rm T}$ = 58,1-60.

Работоспособность можно определить методом количественной оценки факторов условий труда и его тяжести.

Интегральный показатель работоспособности $K_{\text{инт}}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{\rm MHT} = 100 - \frac{M_{\rm T} - 15,6}{0.64},\tag{4}$$

где 15,6; 0,64 – эмпирические коэффициенты.

Практика показывает, что в сборе материалов для балльной оценки должны участвовать специалисты отдела охраны труда и заработной платы, промышленно-санитарных лабораторий и др. [14-18].

Интегральная оценка тяжести труда позволяет провести оценку условий труда без дополнительных затрат, определить необходимость предоставления льгот и компенсаций, уменьшения или отказа в них в случае улучшении условий труда.

Выводы. Предложенный механизм реализации работы по охране труда в любой организации допускает оценку эффективности мер по обеспечению безопасности, которая определяется уровнем соблюдения требований законодательных актов, правил и инструкций по охране труда при производстве работ. Выявленные отклонения от требований законодательных актов, правил и инструкций по охране труда будут свидетельствовать о проведенной

работе по обеспечению безопасности; чем меньше поток отклонений, тем эффективнее работа по обеспечению безопасности производства. Внедрение органолептической балльной оценки показателей условий труда с применением тестов-анкет, когда в качестве диагноста параметров условий труда выступает сам работник, позволит регулярно проводить оценку условий труда и разрабатывать конкретные меры для их улучшения.

Библиографический список

- 1. Макушин В.Г. Совершенствование условий труда на промышленных предприятиях. М.: Экономика. 1981. 216 с.
- 2. Игайкина И.И., Миньков Н.А. Анализ и оценка влияния условий труда на работоспособность работников // Сельский механизатор. 2020. N3. C. 38-40.
- 3. Игайкина И.И., Вишняков Е.В. Комплексная оценка состояния охраны труда на предприятиях АПК // Сельский механизатор. 2022. N10. C. 37-38.
- 4. Алибекова И.В., Лактионов К.С. Безопасность труда в строительстве и разработка метода экспресс мониторинга условий труда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. N9. Спец. вып. 27. С. 3-15.
- 5. Алибекова И.В. Методы мониторинга профессионального риска // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы IV международной научно-практической конференции, Саратов, 29-30 мая 2018 г. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. 2018. С. 169-172.
- 6. Кулакова Е.В. Охрана труда важнейшая составляющая безопасности жизнедеятельности в развитии АПК // Ученые записки Орловского государственного университета. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. 2015. N4. C. 236-238.
- 7. Шестаков Ю.Г., Кулакова Е.В., Алибекова И.В. К методике анализа материалов расследования несчастных случаев // Энергообеспечение и строительство: сборник материалов III Международной выставки—интернет-конференции. 2009. С. 171-174.
- 8. Шапров М.Н., Мисюряев В.Ю., Мартынов И.С., Гузенко Е.Ю. Специальная оценка условий труда и безопасность работников АПК // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. N4(36). С. 206-210.
- 9. Кулакова Е.В., Лактионов К.С. Повышение безопасности работников совершенствованием системы обучения охране труда. Орел: Орловский ГАУ. 2016. 182 с.
- 10. 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. C. 80-84.
- 11. Алибекова И.В., Кулакова Е.В. Новые подходы к оценке профессиональных рисков // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. N4. C. 66-70.
- 12. Мартынов И.С., Садовников М.А., Гузенко Е.Ю. Зависимость безопасности работников АПК от оценки профессиональных рисков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. N2(50). С. 355-362.
- 13. Количественная оценка тяжести труда: межотраслевые методические рекомендации. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Экономика. 1988. 120 с.
- 14. Лимарев В.Я., Семейкин В.А., Корнеев В.М., Дорохов А.С. и др. Положение по организации входного контроля качества машиностроительной продукции, поступающей агропромышленному комплексу. Москва: Росагроснаб. 2006. 30 с.
- 15. Шарипов В.М., Измайлов А.Ю., Дорохов А.С. и др. К вопросу создания отечественного гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства // Тракторы и сельхозмашины. 2018. N2. С. 17-25.
 - 16. Игнатов В.И., Дорохов А.С., Мишина З.Н., Герасимов В.С. Способы поддерж-

ки жизненного цикла сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2018. N10. C. 40-43.

- 17. 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.
- 18. Ценч Ю.С. Профессиональные стандарты как фактор сокращения дефицита квалифицированных кадров // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. Т. 67. N2. С. 62-65.

References

- 1. Makushin V.G. Sovershenstvovaniye usloviy truda na promyshlennykh predpriyatiyakh [Improvement of working conditions at industrial enterprises]. Moscow: Ekonomika. 1981. 216 (In Russian).
- 2. 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 working capacity of employees]. Sel'skiy mekhanizator. 2020. N3. 38-40 (In Russian).
- 3. Igaykina I.I., Vishnyakov E.V. Kompleksnaya otsenka sostoyaniya okhrany truda na predpriyatiyakh APK [Comprehensive assessment of labor protection at agricultural enterprises]. Sel'skiy mekhanizator. 2022. N10. 37-38 (In Russian).
- 4. Alibekova I.V., Laktionov K.S. Bezopasnost' truda v stroitel'stve i razrabotka metoda ekspress monitoringa usloviy truda [Labor safety in construction and development of the method of express monitoring of working conditions]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2016. N9. Spec. iss. 27. 3-15 (In Russian).
- 5. Alibekova I.V. Metody monitoringa professional'nogo riska [Methods of monitoring occupational risk]. Innovatsii v prirodoobustroystve i zashchite v chrezvychaynykh situatsiyakh: materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Saratov, 29-30 maya 2018 g. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. N.I. Vavilova. 2018. 169-172 (In Russian).
- 6. 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 agriculture]. Uchenyye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennyye, tekhnicheskiye i meditsinskiye nauki. 2015. N4. 236-238 (In Russian).
- 7. Shestakov Yu.G., Kulakova E.V., Alibekova I.V. K metodike analiza materialov rassledovaniya neschastnykh sluchayev [The methodology of analysis of accident investigation materials]. Energoobespecheniye i stroitel'stvo: sbornik materialov III Mezhdunarodnoy vystavki–internet-konferentsii. 2009. 171-174 (In Russian).
- 8. Shaprov M.N., Misyuryayev V.Yu., Martynov I.S., Guzenko E.Yu. Spetsial'naya otsenka usloviy truda i bezopasnost' rabotnikov APK [Special assessment of working conditions and safety of agricultural workers]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2014. N4(36). 206-210 (In Russian).
- 9. Kulakova E.V., Laktionov K.S. Povysheniye bezopasnostirabotnikov sovershenstvovaniyem sistemy obucheniya okhrane truda [Improving employee safety by improving the occupational safety training system]. Orel: Orlovskiy GAU. 2016. 182 (In Russian).
- 10. Anisimov I.M., Fomin A.I. Podkhody i kriterii otsenki sostoyaniya bezopasnosti truda na predpriyatii [Approaches and criteria for assessing the state of occupational safety at the enterprise]. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti. 2015. N4. 80-84 (In Russian).
- 11. Alibekova I.V., Kulakova E.V. Novyye podkhody k otsenke professional'nykh riskov [New approaches to professional risk assessment]. Problemy analiza riska. 2018. Vol. 15. N4. 66-70 (In Russian).

- 12. Martynov I.S., Sadovnikov M.A., Guzenko E.Yu. Zavisimost' bezopasnosti rabotnikov APK ot otsenki professional nykh riskov [Dependence of the safety of agricultural workers on the assessment of occupational risks]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional noye obrazovaniye. 2018. N2(50). 355-362 (In Russian).
- 13. Kolichestvennaya otsenka tyazhesti truda: mezhotraslevyye metodicheskiye rekomendatsii [Quantitative assessment of the severity of labor: intersectoral methodological recommendations]. 3rd ed, ext. and rearr. Moscow: Ekonomika. 1988. 120 (In Russian).
- 14. Limarev V.YA., Semeykin V.A., Korneev V.M., Dorokhov A.S., et.al. 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).
- 15. Sharipov V. M., Izmaylov A. YU., Dorokhov A.S. et.al. K voprosu sozdaniya otechestvennogo gusenichnogo traktora dlya sovremennogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [On the issue of creating a domestic tracked tractor for modern agricultural production]. Traktory i sel'khozmashiny. 2018. N2. 17-25. (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 oborudovanie dlya sela. 2018. N10. 40-43 In Russian).
- 17. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Kontrol' geometricheskikh i fiziko-mekhanicheskikh parametrov zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy izmeritel'noy ustanovki [Control of geometrical and physico-mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery using an automated measuring system]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122. 59-62 (In Russian).
- 18. 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)

Заявленный вклад соавторов

Кравченко И.Н. – научное руководство, формулирование основной концепции исследования;

Кулакова Е.В. – осуществление критического анализа и доработка текста; Алибекова И.В. – сбор и обработка материалов, анализ полученных результатов;

Величко Ю.В. – подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста;

Тойгамбаев С.К. – поиск аналитических материалов, анализ и дополнение текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kravchenko I.N. – scientific guidance, writing the basic concept of research; Kulakova E.V. – implementation of critical analysis and revision of the manuscript; Alibekova I.V. – collection and processing of materials, analysis of the results obtained;

Velichko Yu.V. – preparation and analysis of literary data, editing of the manuscript;

Toygambayev S.K. – *search for analytical materials, analysis of the manuscript.* All the authors have read and approved the final manuscript.

РАСЧЕТ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ В ГАЗОДИЗЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Антон Викторович Захарин, кандидат технических наук, доцент, e-mail: anton-zaharin@mail.ru;

Павел Анатольевич Лебедев, кандидат технических наук, доцент; Роман Владимирович Павлюк, кандидат технических наук, доцент; Наталья Петровна Доронина, кандидат экономических наук, доцент; Николай Михайлович Цибин, студент-исследователь Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Реферат. На сегодняшний день использование компримированного природного газа в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания становится мировой тенденцией. Ставропольский край представляет собой один из лидеров среди всех регионов России в данном вопросе, уровень газификации которого составляет 99,8 процентов. Такой высокий уровень газификации края служит катализатором для лидерства региона в области использования природного газа в качестве моторного топлива. (Цель исследования) Определить эффективность перевода мобильной сельскохозяйственной техники и стационарного оборудования на газомоторное топливо. (Материалы и методы) Разработали программу «Расчет эффективности перевода дизельных энергосредств в газодизельный режим работы». Определили, что для работы программы вводятся исходные данные, касающиеся конкретных условий эксплуатации сельскохозяйственной техники. В результате программа анализирует входные данные и выдает расчет. (Результаты и обсуждение) Показали, что в результате расчета можно вывести информацию в виде таблицы и определить наиболее целесообразные марки техники для перевода их в газодизельный режим работы в первую очередь. Отметили, что программа выдает общие рекомендации по организации обеспечения газодизельной техники компримированным природным газом с учетом индивидуальных особенностей расположения хозяйства и марочного состава газодизельной техники. (Выводы) Разработанное программное средство позволяет ответить на наиболее актуальные вопросы прикладного характера как экономического, так и логистического уровня; значительно упростить перевод дизельных энергосредств в газодизельный режим, а также снизить риски незапланированных издержек, связанных с необходимостью организации обеспечения техники газом с использованием средств доставки и хранения компримированного природного газа.

Ключевые слова: компримированный природный газ, газодизель, газодизельный режим работы, дизельное энергосредство, расчет эффективности.

Для цитирования: Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В., Доронина Н.П., Цибин Н.М. Расчет целесообразности и эффективности перевода дизельных энергосредств в газодизельный режим работы // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 57-66. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-57-66. WWBRYJ.

EFFICIENCY OF CONVERSION OF DIESEL POWER MEANS TO GAS-DIESEL OPERATION MODE

Anton V. Zakharin, Ph.D.(Eng.), associate professor; Pavel A. Lebedev, Ph.D.(Eng.), associate professor; Roman V. Pavlyuk, Ph.D.(Eng.), associate professor; Natal'ya P. Doronina, Ph.D.(Eng.), associate professor; Nikolay M. Tsibin, student-researcher, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract. Today, the use of compressed natural gas as fuel for internal combustion engines is becoming a global trend. Stavropol Krai is one of the leaders among all regions of Russia in this matter, the level of gasification of which is 99.8 percent. Such a high level of gasification of the region serves as a catalyst for the leadership of the region in the use of natural gas as a motor fuel. (Research purpose) The research purpose is determining the effectiveness of the transfer of mobile agricultural machinery and stationary equipment to gas engine fuel. (Materials and methods) Developed the program "Calculation of efficiency of conversion of diesel power facilities to gas-diesel mode of operation". The initial data concerning the specific operating conditions of agricultural machinery are entered for the operation of the program. As a result, the program analyzes the input data and issues a calculation. (Results and discussion) It is possible to output data in the table and determine the most appropriate brands of equipment to transfer them to the gas-diesel mode of operation in the first place. The program provides general recommendations on the organization of the provision of gas-diesel equipment with compressed natural gas, taking into account the individual characteristics of the location of the farm and the brand composition of gas-diesel equipment. (Conclusions) The developed software tool allows you to answer the most pressing questions of an applied nature at both the economic and logistical level; significantly simplify the transfer of diesel power facilities to the gas-diesel mode, as well as reduce the risks of unplanned costs associated with the need to organize the provision of equipment with gas using means of delivery and storage of compressed natural gas.

Keywords: compressed natural gas, gas-diesel, gas-diesel operation mode, diesel power vehicle, efficiency calculation.

For citation: Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V., Doronina N.P., Tsibin N.M. Raschet tselesoobraznosti i effektivnosti perevoda dizel'nykh energosredstv v gazodizel'nyy rezhim raboty [Efficiency of conversion of diesel power means to gas-diesel operation mode]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 57-66 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-57-66. WWBRYJ.

Введение. Одно из наиболее перспективных направлений развития энергетики как Ставропольского края, так и России заключается в расширении использования компримированного природного газа (КПГ) в качестве моторного топлива.

Расширение использования КПГ дает не только экономические преимущества, но и позволяет значительно снизить вредные выбросы в атмосферу ввиду того, что газ более экологичен по сравнению с дизельным топливом [1-3].

Так, при использовании 100 млн куб. м КПГ в качестве моторного топлива сокращение вредных выбросов в атмосферу составит более 25,5 тыс. тонн, по сравнению с «классическими» видами топлива.

Одним из лидеров среди всех регионов России по уровню газификации

становится Ставропольский край. По данным администрации Ставропольского края, на 1 января 2020 г. уровень газификации региона составил 99,8%. Такой высокий уровень газификации края создает хорошие предпосылки для лидерства региона в области использования природного газа в качестве моторного топлива.

По данным Министерства экономического развития Ставропольского края, на сегодняшний день в крае эксплуатируются 26 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и 2 передвижных автомобильных газовых заправщика (ПАГЗ). В планах строительство еще 10 АГНКС и 3-х модулей заправки КПГ. Для реализации планов в текущем году инвесторы получат от регионального Минпрома государственные субсидии на компенсацию части затрат по строительству метановых заправок из расчета до 36 млн руб. на один объект.

Цель исследования — определить эффективность перевода мобильной сельскохозяйственной техники и стационарного оборудования на газомоторное топливо.

В связи с высокой актуальностью вопросов по переводу техники на газомоторное топливо и интенсивному развитию инфраструктуры газозаправочной сети Ставропольского края вопросы по разработке инфраструктурных решений и определению эффективности перевода мобильной сельскохозяйственной техники и стационарного оборудования на газомоторное топливо являются актуальными и перспективными для практического внедрения в сельское хозяйство. Для упрощения обоснования целесообразности перевода дизельных энергосредств в газодизельный режим работы и ответа на наиболее распространенные вопросы по этому направлению, предпринимались попытки разработки программ расчета эффективности перевода техники на газообразное топливо. Одна из подобного плана программ — программа под названием «Расчет экономического эффекта от использования газообразного топлива» [4].

Однако ее главный недостаток, как и многих других, заключается в том, что она дает ответы только на экономическую часть вопросов, связанных с переводом сельскохозяйственной техники в газодизельный режим работы.

Все вопросы прикладного характера, связанные с переводом техники в газодизельный режим работы применительно к конкретным условиям работы, можно разделить на три группы:

- технические (падает ли мощность и крутящий момент при работе в газодизельном режиме? Увеличивается ли износ шатунно-поршневой группы двигателя? Где размещать баллоны с газом? и т. д.);
- экономические (Сколько будет стоить переоборудование? Когда окупится? и т.д.);
- логистические (Как осуществлять заправку при большой удаленности АГНКС? Сколько нужно ПАГЗ для обеспечения переоборудованной техники КПГ? Как долго происходит заправка газовых баллонов? и т.д.).

Техническим аспектам перевода техники в газодизельный режим работы посвящено уже много научных работ [5-9].

В основном они касаются устройств регулирования газовоздушной смеси и принципов ее подачи и воспламенения в цилиндре. Большинство технических аспектов работы и перевода дизеля в газодизельный режим работы уже учтены в готовых технических решениях по переоборудованию техники, предлагаемых на рынке. Вопросам экономического, а особенно логистического характера посвящено значительно меньше работ [10].

Эффективность перевода техники в газодизельный режим работы обо-

сновывается более низкой стоимость КПГ по сравнению с дизельным топливом. В связи с этим основным критерием эффективности перевода дизельной техники в газодизельный режим будет экономия дизельного топлива, а как следствие — значительное снижение экономических затрат при обработке сельскохозяйственных угодий. Однако при переводе сельскохозяйственной техники в газодизельный режим работы следует обратить внимание на такие факторы, как доступность КПГ; ежедневная потребность КПГ; время, затрачиваемое на доставку и заправку сельскохозяйственной техники КПГ и др. Эти факторы и будут определять целесообразность перевода энергосредств в газодизельный режим работы [11, 12].

Материалы и методы. В связи с этим на кафедре «Технический сервис, стандартизация и метрология» Ставропольского ГАУ, была разработана программа «Расчет эффективности перевода дизельных энергосредств в газодизельный режим работы». На данную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2022682318.

Программа разработана в приложении *Microsoft Excel* и состоит из двух окон: «Входные данные» и «Выходной расчет».

Для начала расчета необходимо на первой вкладке «Входные данные» ввести необходимые данные прикладного характера применительно к конкретным условиям работы:

- марка энергосредства (водится название, марка или номер энергосредства, эффективность перевода на КПГ которого необходимо просчитать (не более 9 позиций));
- количество техники под переоборудование для работы на КПГ, шт. (указывается количество техники данной марки, планируемое под переоборудование в газодизельный режим работы);
- тип энергосредства (из раскрывающегося списка выбирается тип энергосредства для каждой указанной марки: «трактор», «грузовой автомобиль», «комбайн»);
- годовой расход дизельного топлива на одну единицу техники, т (указывается средний годовой расход топлива на одну единицу техники в тоннах для каждой указанной марки энергосредства);
- емкость баллонов газодизельной установки, л (предполагаемая емкость газовых баллонов в литрах, которая может быть установлена на данный тип дизельного энергосредства, указывается для каждой марки);
- тип заправочного средства (выбирается из раскрывающегося списка только для первой строчки: Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция АГНКС или передвижной автомобильный газовый заправщик ПАГЗ (АГНКС выбирается в том случае если на территории хозяйства или в непосредственной близости есть АГНКС и приобретение ПАГЗ не планируется, в других случаях выбирается ПАГЗ);
- количество заправочных постов, шт. (указывается количество заправочных постов в шт. на АГНКС или ПАГЗ только для первой строчки);
- среднее расстояние от места базирования энергосредства до ближайшей АГНКС, км (указывается расстояние до ближайшей АГНКС или станции СПГ в километрах, только для первой строчки);
- производительность заправочного средства, $\text{нм}^3/\text{ч}$ (берется из характеристики АГНКС или ПАГЗ, производительность указывается в нормальных кубических метрах в час « $\text{нм}^3/\text{ч}$ » и только для первой строчки);
- объем газа в ПАГЗ, нм^3 (в случае если имеется ПАГЗ или планируется его приобретение указывается емкость его баллонной установки в нормальных метрах кубических, только для первой строчки);

- стоимость переоборудования энергосредства для работы на КПГ, руб. (указывается стоимость в рублях для каждой выбранной марки энергосредства, подлежащей переводу в газодизельный режим работы);
- цена дизельного топлива, руб./л (указывается актуальная цена на данный момент в рублях за литр дизельного топлива);
- цена КПГ, руб./м³ (указывается актуальная цена на данный момент в рублях за один метр кубический компримированного природного газа).

В основу расчета положена обобщенная методика повышения эффективности использования энергосредств и стационарного оборудования с учетом перевода их на компримированный природный газ в сельском хозяйстве (рис.).



Рис. Обобщенная методика повышения эффективности использования энергосредств и стационарного оборудования с учетом перевода их на компримированный природный газ в сельском хозяйстве

После ввода всех данных программа их обрабатывает и выдает результаты расчета и общие рекомендации на вкладке «Выходной расчет».

Результаты и обсуждение. На вкладке «Выходной расчет» выводятся следующие данные:

- объем потребляемого дизельного топлива в год, л (показывает суммарный годовой расход дизельного топлива (ДТ) в литрах для каждой марки указанных энергосредств, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- годовая стоимость дизельного топлива, руб. (показывает стоимость потребляемого дизельного топлива за год при текущей цене на дизельное топливо для каждой марки энергосредств, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- примерное количество газа, нм³ (показывает примерный объем газа, необходимый для всех эненергосредств данной марки в течение года при переводе их в газодизельный режим работы, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- экономия дизельного топлива, л (данная колонка показывает количество ДТ в литрах, замещенного КПГ для каждой марки энергосредств, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- экономия дизельного топлива, руб./год (показывает сумму экономии от замещения ДТ природным газом за год при текущей цене на дизельное топливо для каждой марки энергосредств, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);
 - абсолютная экономия на топливе, руб./год (показывает сумму эконо-

мии от замещения ДТ природным газом за год при текущей цене на дизельное топливо и компримированный природный газ для каждой марки энергосредств, а также общую сумму по всем энергосредствам в строке «Итог»);

- среднее ежедневное потребление газа, нм³/день (в этой колонке показывается средний ежедневный расход газа в нормальных метрах кубических на одно энергосредство данной марки в день, а также общая сумма среднего ежедневного расхода по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- годовой объем КПГ, л (в колонке показывается примерный расчетный годовой объем потребления КПГ в литрах для каждой марки энергосредств, а также общая сумма по всем энергосредствам в строке «Итог»);
- примерный ежедневный расход КПГ, л (показывает примерный объем газа в литрах, необходимый для всех энергосредств данной марки в день при переводе их в газодизельный режим работы);
- среднее время дозаправки одной машины, мин (показывает примерное время в минутах ежедневной дозаправки одной машины данной марки без учета времени проезда до места заправки);
- среднее время полной заправки одной машины, мин (показывает примерное время в минутах полной заправки одной машины данной марки без учета времени проезда до места заправки);
- средняя периодичность заправки энергосредства, дней (показывает частоту дозаправки энергосредства при среднем ежедневном потреблении КПГ);
- средняя периодичность заправки $\Pi A \Gamma 3$, дней (показывает частоту периодичности заправки $\Pi A \Gamma 3$ на ближайшем $A \Gamma H K C$ (или заводе $C \Pi \Gamma$) при среднем ежедневном потреблении $K \Pi \Gamma$ всеми газодизельными энергосредствами);
- время перезаправки ПАГЗ, ч (показывает время в часах полной заправки ПАГЗ при номинальном объеме перевозимого им КПГ как при обслуживании им конкретных марок энергосредств, так и при обслуживании всех имеющихся энергосредств в строке «Итог»);
- примерное время одновременной дозаправки всех машин, мин (данный столбец моделирует ситуацию, когда возникает необходимость срочной одновременной дозаправки всех газодизельных энергосредств данной марки, а также показывает общее время дозаправки по всем энергосредствам в строке «Итог» в минутах и ниже в часах);
- время проезда до АГНКС, час (столбец показывает примерное время проезда энергосредства данной марки в часах до АГНКС в случае отсутствия или невозможности его заправки с помощью ПАГЗ);
- стоимость газодизельного топлива в год, руб. (суммарная годовая стоимость газа и ДТ, потребляемого всеми газодизельными энергосредствами данной марки в рублях);
- окупаемость, лет (приводятся результаты расчета срока окупаемости стоимости переоборудования дизельных энергосредств в газодизельный режим работы для каждой марки, а также при переоборудовании всех заявленных энергосредств в строке «Итог» без учета затрат на средства доставки и хранения КПГ).

В результате расчета все эти данные выводятся в виде компактной таблицы, из которой наглядно видно, какие марки техники наиболее целесообразно переводить в газодизельный режим работы и каковы будут основные аспекты их эксплуатации и обслуживания. Помимо представленных выше выходных данных как экономического, так и логистического характера, программа выдает «Общие рекомендации» относительно организации обеспечения газодизельной техники КПГ с учетом индивидуальных особенностей расположения хозяйства и марочного состава газодизельной техники.

Приводит также марочный список техники, которую целесообразно будет

заправлять на ближайшей АГНКС при наличии такой возможности. В случае необходимости приобретения ПАГЗ, программа выполняет проверочный расчет и дает рекомендации по требуемому количеству ПАГЗ и емкости их газобаллонных установок. Программа была апробирована на примере расчета эффективности перевода в газодизельный режим работы 5 тракторов МТЗ и 2 грузовых автомобиля КАМАЗ для СПК колхоз-племзавод «Казьминский» Кочубеевского муниципального округа Ставропольского края. Среднегодовой расход одного трактора МТЗ составляет 8,5 т ДТ, а на одного КАМА За -7 т в год. В хозяйстве предполагается заправка техники КПГ с помощью ПАГЗ, так как ближайшая АГНКС находится в 17 км от места базирования техники. ПАГЗ активного типа будет оборудован двумя заправочными постами с общей емкостью баллонов 3000 нм³, производительностью 600 нм³/ч.

Таблица Результаты расчета основных показателей эффективности перевода дизельной техники в газодизельный режим

Расчетные показатели энергосред- ства	Количество потребления дизельного топлива в год, л	Годовая стоимость дизельного топлива, руб.	Примерное количество газа, нм ³	Экономия дизельного топлива, л	Эконо дизель топлива,	ного
MT3-1221	50898,20	2595808,40	36137,72	35628,74	1817065,88	
КАМАЗ	16766,47	855089,83	11904,19	11736,53	598562,88	
Итог	67664,67	3450898,23	48041,92	47365,27	241562	28,76
Расчетные показатели энергосредства	Абсолютная экономия на топливе, руб./год	Среднее ежеднев- ное потребление газа, нм³/день	Примерное время одновременной дозаправки всех машин, мин/час	Средняя перио- дичность заправки ПАГЗ, дней	Годовой объем КПГ, л	Окупа- емость, лет
MT3-1221	1058173,66	144,55	27,68/0,46	20,75	151778,44	1,89
КАМА3	348574,85	32,61	8,42/0,14	63,00	49997,61	2,58
Итог	1406748,51	177,17	36,10/0,6	15,61	201776,05	2,06
Расчетные показате- ли энергосредства	Среднее время полной заправки одной машины, мин	Средняя периодич- ность заправки энергосредства, дней	Примерный	ежедневный расход КПГ, л	Среднее время	машины, мин
MT3-1221	20,00	2,47	121,42		6,07	
КАМА3	25,00	5,84	68,49		3,42	
Расчетные показатели энергосред- ства	Время проезда до АГНКС, час		Стоимость газодизельного топлива в год, руб.		Время переза- правки ПАГЗ, ч	
MT3-1221	1,0	0	15376	534,74	5,75	
КАМА3	0,7	7	5065	14,97	5,/5	

Стоимость газодизельной установки с учетом стоимости работ для MT3 будет составлять 400 тыс. руб., а для KMA3A -450 тыс. руб. При этом предполагается установка баллонов для хранения КПГ на трактор MT3 емкостью 300 л,

а на КАМАЗ -400 л. При текущей цене ДТ 51 руб./л и КПГ 21 руб./м³. Результаты расчета для удобства их восприятия представили в *таблице*.

По результатам проверки программа выдала общие рекомендации следующего характера:

- необходимо приобретение ПАГЗ для заправки газодизельных энергосредств в хозяйстве, а также рассмотрение возможности постройки собственной АГНКС;
- для грузовых автомобилей марки KAMA3 возможна заправка на ближайшей АГНКС;
- планируемого одного $\Pi A \Gamma 3$ с имеющейся емкостью баллонов будет достаточно для заправки имеющейся техники в хозяйстве (один $\Pi A \Gamma 3$ с емкостью баллонной установки $3000~\text{hm}^3$).

Анализируя вышеизложенный расчет, получаем, что в первую очередь целесообразнее всего переводить в газодизельный режим работы грузовые автомобили КА-MA3, так как их нормальная эксплуатация в газодизельном режиме возможна без приобретения Π A Γ 3. В целом же перевод данной техники в газодизельный режим работы позволит получить экономию более 47 тыс. л дизельного топлива в год [13-15].

Выводы. Разработанное программное средство позволяет ответить на наиболее актуальные вопросы прикладного характера как экономического, так и логистического уровня. Предварительный расчет показал, что можно значительно упростить процедуру перевода дизельных энергосредств в газодизельный режим, а также снизить риски незапланированных издержек, связанных с необходимостью организации обеспечения техники газом с использованием средств доставки и хранения КПГ. Следовательно, ожидаемой эффективностью применения данной программы расчета в хозяйствах станет увеличение количества сельскохозяйственной техники, использующей КПГ в качестве основного вида топлива.

Библиографический список

- 1. Лебедев А.Т., Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В., Марьин Н.А. Снижение выбросов углекислого газа дизельной техники при выполнении технологических операций // Наука в центральной России. 2018. N2(32). C. 60-68.
- 2. Lv Z., Wu L., Ma C., Sun L., Peng J., Yang L., Wei N., Zhang Q., Mao H. Comparison of CO2, NOx, and VOCs emissions between CNG and E10 fueled light-duty vehicles. Science of the Total Environment. 2023. Vol. 858. Art. N159966.
- 3. Kryshtopa S., Panchuk M., Kozak F., Dolishnii B., Mykytii I., Skalatska O. Fuel economy raising of alternative fuel converted diesel engines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 8 (94). 6-13.
- 4. Мастепаненко М.А., Шматко С.Г., Шматко Г.Г., Шлаев Д.В. Расчет экономического эффекта перевода техники на альтернативные виды топлива с использованием информационных технологий // Сельский механизатор. 2022. N4. C. 4-7.
- 5. Зейбель А.Ю., Марьин Н.А., Лебедев П.А., Захарин А.В., Лебедев А.Т. Особенности работы газодизельных двигателей // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей по материалам XV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора О.Г. Ангилеева в рамках XXI Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2019». 2019. С. 478-482.
- 6. Mytrofanov O., Proskurin A., Poznanskyi A. Analysis of the piston engine operation on ethanol with the synthesis-gas additives. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N4(1-94). 6-11.
- 7. Taghi Zarrinkolah M., Hosseini V. Methane slip reduction of conventional dualfuel natural gas diesel engine using direct fuel injection management and alternative combustion modes. Fuel. 2023. Vol. 331. Art. N125775.
 - 8. Muratov A.V., Lyashenko V.V. Design features of switching diesel engines to the gas-diesel

- operation using natural gas as a fuel. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2023. 60-67.
- 9. Jung W., Liu J., Ulishney C.J., Dumitrescu C.E. Optical and numerical investigation of flame propagation in a heavy duty spark ignited natural gas engine with a bowl-in-piston chamber. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2022. Vol. 144 (11). Art. N4055454.
- 10. Лебедев А.Т., Захарин А.В., Лебедев П.А., Магомедов Р.А., Павлюк Р.В. Расчет расхода газа при работе дизельного двигателя в газодизельном режиме // Научное обозрение. 2014. N4. C. 236-240.
- 11. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. C. 46-55.
- 12. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // Вестник ВИЭСХ. 2018. N4 (33). С. 150-156.
- 13. 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, Москва, 17-18 сентября 2013 года. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2013. С. 355-357.
- 14. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В., Краснящих К.А. Безразборная очистка камеры сгорания двигателя // Сельский механизатор. 2014. N4. C. 36-37.
- 15. Дорохов А.С., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Средства контроля качества сельскохозяйственной техники // Сельский механизатор. 2015. N10. C. 34-35.

References

- 1. Lebedev A.T., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V., Mar'in N.A. Snizheniye vybrosov uglekislogo gaza dizel'noy tekhniki pri vypolnenii tekhnologicheskikh operatsiy [Reduction of carbon dioxide emissions of diesel equipment during technological operations]. Nauka v tsentral'noy Rossii. 2018. N2(32). 60-68 (In Russian).
- 2. Lv Z., Wu L., Ma C., Sun L., Peng J., Yang L., Wei N., Zhang Q., Mao H. Comparison of CO2, NOx, and VOCs emissions between CNG and E10 fueled light-duty vehicles. Science of the Total Environment. 2023. Vol. 858. Art. N159966.
- 3. Kryshtopa S., Panchuk M., Kozak F., Dolishnii B., Mykytii I., Skalatska O. Fuel economy raising of alternative fuel converted diesel engines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 8 (94). 6-13.
- 4. Mastepanenko M.A., Shmatko S.G., Shmatko G.G., Shlayev D.V. Raschet ekonomicheskogo effekta perevoda tekhniki na al'ternativnyye vidy topliva s ispol'zovaniyem informatsionnykh tekhnologiy [Calculation of the economic effect of transferring equipment to alternative fuels using information technology]. Sel'skiy mekhanizator. 2022. N4. 4-7 (In Russian).
- 5. Zeybel' A.Yu., Mar'in N.A., Lebedev P.A., Zakharin A.V., Lebedev A.T. Osobennosti raboty gazodizel'nykh dvigateley [Features of operation of gas-diesel engines]. Aktual'nyye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: sbornik nauchnykh statey po materialam XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora O.G. Angileyeva v ramkakh XXI Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal-2019». 2019. 478-482 (In Russian).
- 6. Mytrofanov O., Proskurin A., Poznanskyi A. Analysis of the piston engine operation on ethanol with the synthesis-gas additives. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N4(1-94). 6-11.
- 7. Taghi Zarrinkolah M., Hosseini V. Methane slip reduction of conventional dualfuel natural gas diesel engine using direct fuel injection management and alternative combustion modes. Fuel. 2023. Vol. 331. Art. N125775.
 - 8. Muratov A.V., Lyashenko V.V. Design features of swit-shing diesel engines to the gas-

diesel operation using natural gas as a fuel. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2023. 60-67.

- 9. Jung W., Liu J., Ulishney C.J., Dumitrescu C.E. Optical and numerical investigation of flame propagation in a heavy duty spark ignited natural gas engine with a bowl-in-piston chamber. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2022. Vol. 144 (11). Art. N 4055454.
- 10. Lebedev A.T., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Magomedov R.A., Pavlyuk R.V. Raschet raskhoda gaza pri rabote dizel'nogo dvigatelya v gazodizel'nom rezhime [Calculation of gas consumption during diesel engine operation in gas-diesel mode]. Nauchnoye obozreniye. 2014. N4. 236-240 (In Russian).
- 11. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdaniye i razvitiye sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian).
- 12. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of progressive machine technologies and machinery in agricultural production]. Vestnik VIESH. 2018. N4 (33). 150-156 (In Russian).
- 13. Dorokhov A.S. Komp'yuternoye zreniye 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, Moskva, 17-18 sentyabrya 2013 goda. Moscow: Vserossiyskiy nauchnoissledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. 2013. 355-357 (In Russian).
- 14. Dorokhov A.S., Korneyev V.M., Katayev Yu.V., Krasnyashchikh K.A. Bezrazbornaya ochistka kamery sgoraniya dvigatelya [Disassembly cleaning of the combustion chamber of the engine]. Sel'skiy mekhanizator. 2014. N4. 36-37 (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

Захарин А.В. — научное руководство, анализ и доработка текста; Лебедев П.А. — подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста;

Павлюк Р.В. – подготовка научной части, анализ литературных данных; Доронина Н.П. – анализ литературных данных; подготовка практической части;

Цибин Н.М. – техническая верстка материала, оформление библиографического списка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Zakharin A.V. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Lebedev P.A. – preparation and analysis of literary data, editing the manuscript; Pavlyuk R.V. – preparation of the scientific part, analysis of literary data; Doronina N.P. – analysis of literary data; preparation of the practical part; Tsybin N.M. – technical layout of the material, design of the bibliographic list. All the authors have read and approved the final manuscript.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Применение металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных технологиях (на примере клапана ДВС)

Алексей Геннадьевич Ипатов, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Ipatow.al@yandex.ru; Евгений Викторович Харанжевский, доктор технических наук, профессор; Кирилл Георгиевич Волков, аспирант; Сергей Николаевич Шмыков, кандидат экономических наук, доцент Удмуртский государственный аграрный университет, Удмуртская Республика, г. Ижевск, Российская Федерация

Традиционные технологии наращивания восстановительных покрытий исчерпали свой ресурс и их использование не обеспечивает требуемых экономических показателей. Поэтому вопросы поиска инновационных подходов в ремонтном производстве остаются актуальными и требующими фундаментального подхода. (Цель исследования) Изучить возможности применения тонких металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных покрытиях. (Материалы и методы) Использовали металлокомпозиционный состав на основе металлической матрицы никеля, дополнительно упрочненный карбидом бора и оксидом циркония и нанесенный на рабочую поверхность тарелки клапана двигателя внутреннего сгорания. Применили впервые технологию селективного лазерного спекания при формировании тонких восстановительных покрытий в условиях короткоимпульсного лазерного оплавления порошковых сред. Разработали для оценки термостойкости анализируемого покрытия методику испытания на термостойкость клапанов, имитирующую работу клапанного механизма двигателя внутреннего сгорания. Исследовали трибологические показатели покрытий с использованием современных методик и приборного обеспечения для изучения противоизносных свойств. (Результаты и обсуждение) Подтвердили возможность практической реализации восстановительных покрытий на основе металлокомпозитных соединений. Восстановительные покрытия, исследованные на поверхности тарелок клапанов двигателей внутреннего сгорания, показали повышение износостойкости сопряжений до 480 процентов. Наблюдали более высокую термостойкость и задиростойкость контактирующих поверхностей в условиях масляного голодания и сухого трения. Выявили, что снижение износостойкости покрытий определяется снижением коэффициента трения за счет действия трибопленок, формируемых в результате высоких температур в зоне трения и устойчивых против динамического и кинематического нагружения. (Выводы) Представленные результаты исследований имеют высокий научный потенциал и практическую значимость. Их применение позволит повысить надежность и долговечность деталей машин в условиях ремонтного и машиностроительного производства.

Ключевые слова: металломатричные композиты, термостойкость, выпускной клапан двигателя, короткоимпульсная лазерная обработка, антифрикционные свойства.

Для цитирования: Ипатов А.Г., Харанжевский Е.В., Волков К.Г., Шмыков С.Н. Применение металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных технологиях (на примере клапана ДВС) // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 68-75. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-68-75. XHSJUI.

APPLICATION OF METAL-MATRIX COMPOSITES IN REPAIR AND RECOVERY TECHNOLOGIES (ON THE EXAMPLE OF ICE VALVE)

Aleksey G. Ipatov, Ph.D.(Eng.), associate professor; Evgeniy V. Kharanzhevskiy, Dr.Sc.(Eng.), professor; Kirill G. Volkov, postgraduate; Sergey N. Shmykov, Ph.D.(Econ.), associate professor Udmurt State Agrarian University, Udmurt Republic, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. Traditional technologies for building restorative coatings have exhausted their resource and their use does not provide the required economic indicators. Therefore, the issues of finding innovative approaches in repair production remain relevant and require a fundamental approach. (Research purpose) The research purpose is studying the possibilities of using thin metal matrix composites in repair and restoration coatings. (Materials and methods) Used a metal composition based on a metal matrix – nickel, additionally reinforced with boron carbide and zirconium oxide and applied to the working surface of the valve plate of the internal combustion engine. For the first time, the technology of selective laser sintering was used in the formation of thin reducing coatings under conditions of short-pulse laser reflow of powder media. To assess the heat resistance of the analyzed coating, we have developed a method for testing the temperature resistance of valves, simulating the operation of the valve mechanism of an internal combustion engine. Tribological indicators of coatings were studied using modern techniques and instrumentation to study anti-wear properties. (Results and discussion) Confirmed the possibility of practical implementation of restorative coatings based on metal composite compounds. The restorative coatings studied on the surface of the valve plates of internal combustion engines showed an increase in the wear resistance of the interfaces up to 480 percent. Higher temperature resistance and bully resistance of the contacting surfaces were observed under conditions of oil starvation and dry friction. It was revealed that the decrease in the wear resistance of coatings is determined by a decrease in the coefficient of friction due to the action of tribofilms formed as a result of high temperatures in the friction zone and resistant to dynamic and kinematic loading. (Conclusions) The presented research results have high scientific potential and practical significance. Their use will increase the reliability and durability of machine parts in the conditions of repair and machine-building production.

Keywords: metal-matrix composites, heat resistance, engine exhaust valve, short-pulse laser processing, anti-friction properties.

Для цитирования: Ipatov A.G., Kharanzhevskiy E.V., Volkov K.G., Shmykov S.N. Primeneniye metallomatrichnykh kompozitov v remontno-vosstanovitel nykh tekhnologiyakh (na primere klapana DVS) [Application of metal-matrix composites in repair and recovery technologies (on the example of ICE valve)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 68-75 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-68-75. XHSJUI.

Введение. Применение традиционных способов нанесения восстановительных покрытий не в полной мере отвечает современным требованиям, основные из которых: обеспечение необходимого ресурса детали в сопряжении и экономическая целесообразность принятых технологических решений [1, 2].

Во многом ресурс контактирующих поверхностей определяется химическим составом и структурой восстановительных покрытий. Структура поверхности определяет механизм и кинетику изнашивания контактирующих поверхностей. Ряд исследований показывают, что структура поверхностного слоя непостоянна и при повышении температуры способна меняться и негативно влиять на трибологические характеристики сопряжения [3-6]. Разработчиками предложено использование в качестве восстановительных покрытий керамических соединений [7-11].

Известно, что физико-механические свойства керамических материалов стабильны и способны эксплуатироваться при высоких термических и динамических нагрузках [12, 13]. Недостатком керамических материалов служит их низкая способность к смачиванию поверхностей, высокая температура плавления и низкие адгезионные свойства. В данной работе мы исследовали восстановительное покрытие с применением керамических материалов на основе карбида бора и оксидов лития и циркония в металлической никелевой матрице.

Цель исследования — изучить возможности применения тонких металломатричных композитов в ремонтно-восстановительных покрытиях.

Объектом исследований стала рабочая поверхность тарелки клапана двигателя внутреннего сгорания. Синтез покрытия выполнили при помощи короткоимпульсного лазерного излучения. Для анализа работоспособности восстановительного покрытия провели исследования на термостойкость и определили трибологические параметры поверхности.

Материалы и методы. В целях реализации поставленной цели выявили следующие задачи:

- разработка установки для синтеза восстановительных покрытий методом короткоимпульсной лазерной обработки порошковых композиций;
- исследование трибологических свойств восстановительных металломатричных покрытий;
- анализ работоспособности восстановительного покрытия на примере выпускного клапана двигателя на газовом топливе CGe250-30.

Для формирования восстановительных покрытий использовали присадочный материал на основе металлического никеля и дополнительных упрочняющих фаз на основе карбида бора, оксида лития и циркония. Выбрали материалы и их процентное соотношение на основе работ [8, 9].

Подготовку порошковой композиции проводили методом механоактивации в специальной высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице. Применение метода механоактивации для получения композиционных материалов имеет значительные преимущества по сравнению с другими методами [14, 15].

Для синтеза покрытий на базе Удмуртского государственного университета разработали лабораторную установку с использованием технологий селективного лазерного спекания [16]. В качестве излучателя использовали иттербиевый оптоволоконный лазер ($\lambda=1,065\,$ мкм), работающий в короткоимпульсном режиме генерации излучения. Энергетические параметры лазерной обработки в сравнении с аналогичными параметрами СЛС технологий представлены в работе [7]. Формирование покрытия выполнили в условиях глубокого вакуума, с использованием автоматизированной системы нанесения присадочного порошкового слоя на поверхность стального образца или изделия. Высокий вакуум позволяет получать чистые, не окисленные

структуры с высокой плотностью. Трибологические исследования сформированных покрытий выполнили на машине трения СМТ-2070 в условиях нагружения по схеме «диск-колодка» в условиях сухого трения. При этом регистрировали величину коэффициента трения. Для объективного анализа провели сравнительные трибологические исследования со стандартным сопряжением «сталь 40X — чугун СЧ18». Для определения термостойкости анализируемого покрытия металлокомпозиционное покрытие нанесли на рабочую поверхность выпускного клапана двигателя CGe250-30. Испытание выпускного клапана с термостойким покрытием выполнили при помощи лабораторного стенда, разработанного на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» Удмуртского государственного аграрного университета (puc. I). Лабораторная установка позволяет в полной мере моделировать условия работы клапанов, а также формирует ускоренные режимы испытаний за счет повышения температурного фона работы и скорости выхода отработавших газов из камеры сгорания.

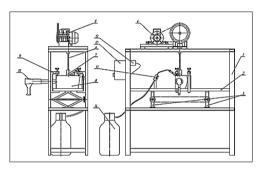


Рис. 1. Лабораторная установка для испытания клапанов на термостойкость: 1 — рама; 2 — стол регулируемый; 3 — подъемный механизм стола; 4 — асинхронный электродвигатель; 5 — кулачковый привод; 6 — шток; 7 — пружинный механизм; 8 — головка блока цилиндров; 9 — струбцины; 10 — фен промышленный; 11 — горелка пропановая; 12 — магнитный пускатель; 13 — терморегулятор; 14 — баллон пропановый

Для достижения необходимой шероховатости рабочей поверхности клапана после синтеза восстановительного покрытия поверхность обработали методом алмазного выглаживания [17-20].

Результаты и обсуждение. Результаты исследования подтвердили возможность получения тонких металломатричных композиционных покрытий на стальных поверхностях методом короткоимпульсной лазерной обработки. Толщина покрытий равномерная и составляет от 50 до 100 мкм без видимых следов коробления и отслоения от стальной поверхности. Микротвердость поверхности колеблется в диапазоне от 920 до 1120 HV. Результаты трибологических исследований показали высокие задиростойкость и изностойкость покрытий (puc. 2). Коэффициент трения сопряжения «металломатричный композит - серый чугун СЧ18» ниже, чем для сопряжения «сталь 40X – серый чугун СЧ18». Низкий коэффициент трения характерен для покрытий с высокой интенсивностью приработки. Металлическая никелевая матрица обеспечивает эффективную прирабатываемость без значительной деформации покрытия. С повышением динамического нагружения коэффициент трения анализируемого сопряжения стабилизируется в районе 0,15-0,16. При достижении нормальной нагрузки в 250 Н коэффициент трения в сопряжении скачкообразно снижается до уникальных 0,09. Стандартное анализируемое сопряжение в условиях испытаний показало низкую эффективность и при нагрузке 150 Н разрушилось.

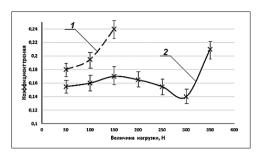


Рис. 2. Сравнительная характеристика коэффициента трения: 1 – сопряжение «сталь 40X – серый чугун CY 18»; 2 – сопряжение «металломатричный композит – серый чугун СЧ18»

Выпускной клапан с нанесенным восстановительным покрытием на основе металломатричных композитов представили на рисунке 3.





Рис. 3. Выпускной клапан двигателя CGe250-30 до (a) и после (б) алмазного выглаживания

Сравнительные результаты исследований на термостойкость показали высокую термостойкость покрытий в сравнении со стандартными клапанами. Термостойкость анализировали по изменению ширины рабочего пояска клапана. Для получения полной картины изменения рабочей фаски клапана провели степенную аппроксимацию полученных данных. Вследствие аппроксимации вывели следующие регрессивные зависимости:

$$Y_I = 0.363x^{0.342};$$
 (1)
 $Y_2 = 0.310x^{0.28},$ (2)

$$Y_2 = 0.310x^{0.28},\tag{2}$$

где Y_1 – ширина образовавшегося пояска на стандартном клапане, мм;

 Y_2 – ширина образовавшегося пояска на модифицированном клапане, мм; х – время работы сопряжения, мин.

Результаты аппроксимации данных представили в виде графических зависимостей (рис. 4).

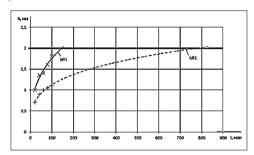


Рис. 4. Динамика изменения ширины пояска сопряжения «клапан–седло» по аппроксимированным данным: №1 – стандартный клапан; №2 – клапан с металломатричным композитом

Стойкость рабочей фаски клапана с металломатричным покрытием превышает стойкость стандартных более чем на 480%. Скачкообразное снижение коэффициента трения вызвано термодинамическими изменениями условий трения, когда трение из внешнего состояния переходит во внутреннее трение. Переход во внутреннее трение возможен лишь при формировании устойчивых трибопленок в зоне трения. Необходимо отметить, что низкие значения коэффициента трения сохранялись даже при развитии достаточно высоких температур $400\text{-}500~^{\circ}\text{C}$. Основным механизмом изнашивания покрытия из карбида бора служит образование оксида бора B_2O_3 в результате взаимодействия с кислородом в окружающей среде. В результате формируется аморфный оксид с температурой плавления $450~^{\circ}\text{C}$ по реакции:

$$B_2O_3 + 3H_2O = 2B(OH)_3. (3)$$

При этом все продукты реакции имеют низкую температуру плавления. В результате на поверхности трения образуется тонкий слой стеклообразной/жидкой массы из продуктов реакции, что объясняет сохранение низкого коэффициента трения при развитии высоких температур в зоне контакта.

Выводы. В результате исследований реализовали все поставленные задачи и цель исследований, а именно, доказали возможность практического применения металломатричных покрытий в ремонтных покрытиях. Синтезируемые покрытия обладают улучшенными физико-механическими и трибологическими свойствами. Полученные результаты отличаются научной новизной в обосновании процессов изнашивания керамических соединений на основе карбида бора и высокой практической значимостью и могут быть использованы в ремонтном производстве, а также при проектировании деталей машин, эксплуатирующиеся в условиях высоких температур и масляного голодания.

Библиографический список

- 1. Величко С.А., Сенин П.В., Чумаков П.В. Пути повышения межремонтного ресурса силовых гидроцилиндров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. N4. C. 36-41.
- 2. Velichko S.A., Senin P.V., Ivanov V.I., Martynov A.V., Chumakov P.V. Formation of thick layer electrospark coatings for restoring worn-out parts of power hydraulic cylinders. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N2. C. 116-123.
- 3. Волков К.Г., Ипатов А.Г., Харанжевский Е.В., Шмыков С.Н. Восстановление и упрочнение рабочей фаски клапана двигателя внутреннего сгорания методом селективной лазерной наплавки (SLM) // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. N9. С. 20-26.
- 4. Ипатов А.Г., Харанжевский Е.В., Волков К.Г. Исследование свойств керамических покрытий рабочей фаски клапанов двигателей // Сельский механизатор. 2022. N3. C. 42-44.
- 5. Бурцев А.Ю., Плаксин А.М., Гриценко А.В. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров дизелей тракторов // АПК России. 2015. Т. 72. N1. С. 23-25.
- 6. Большаков В.И., Шмыков С.Н., Ваганов Д.И. Определение угла распыла электродной проволоки при высоких скоростях наплавки // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. N1(69). С. 48-55.
- 7. Kharanzhevskiy E.V., Krivilyov M.D., Ipatov A.G., Makarov A.V. Soboleva N.N., Gil'mutdinov F.Z. Effect of oxygen in surface layers formed during sliding wear of Ni-ZrO2 coatings. Surface and Coatings Technology. 2022. Vol. 434. Art. N 128174.
- 8. Kharanzhevskiy E.V., Krivilyov M.D., Ipatov A.G., Makarov A.V. Soboleva N.N., Gil'mutdinov F.Z. Tribological performance of boron-based superhard coatings sliding against different materials. Wear. 2021. Vol. 477. 203835.
- 9. Savinyh P., Shirobokov V., Fedorov O., Ivanovs S. Influence of rotary grain crusher parameters on quality of finished product. Engineering for Rural Development: compilation. 2018. 131-136.
 - 10. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Касимов Н.Г., Шакиров Р.Р., Марков Д.А.

- Экспериментальная установка для удаления ботвы картофеля // Сельский механизатор. 2022. N5. C. 6-7.
- 11. Шинкаренко С.Р. Усовершенствование конструкции ротационного рыхлителя // Научные труды студентов Ижевской ГСХА. 2022. Том. 1 (14). С. 2314-2316.
- 12. Meschter P.J., Opila E.J., Jacobson N.S. Water vapor–mediated volatilization of high-temperature materials. Annual Review of Materials Research. 2013. Vol. 43. 559-588.
- 13. King W.E., Anderson A.T., Ferencz R.M., Hodge N.E., Kamath C., Khairallah S.A., Rubenchik A.M. Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges. Applied Physics Reviews. 2015. Vol. 2. N4. Art. N041304.1-26.
- 14. Harris S.J., Harris G., Krauss G., Simko S. Abrasion and chemical-mechanical polishing between steel and a sputtered boron carbide coating. Wear. 2002. Vol. 252. 161-169.
- 15. Mozgovoy S., Alik L., Hardell J., Prakash B. Material transfer during high temperature sliding of Al-Si coated 22MnB5 steel against PVD coatings with and without aluminium. Wear. 2019. 426-427. 401-411.
- 16. Ma D., Harvey T.J., Zhuk Y.N., Wellman R.G., Wood R. J.K. Cavitation erosion performance of CVD W/WC coatings. Wear. 2020. Vol. 452-453. Art. N203276.
- 17. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // Сельский механизатор. 2016. № 8. С. 2-5.
- 18. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. C. 34-37.
- 19. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., et al. The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating // Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 20. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехнические материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. N 4(149). C. 37-45.

References

- 1. Velichko S.A., Senin P.V., Chumakov P.V. Puti povysheniya mezhremontnogo resursa silovykh gidrotsilindrov [Ways to increase the overhaul life of power hydraulic cylinders]. Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2015. N4. 36-41 (In Russian).
- 2. Velichko S.A., Senin P.V., Ivanov V.I., Martynov A.V., Chumakov P.V. Formation of thick layer electrospark coatings for restoring worn-out parts of power hydraulic cylinders. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N2. 116-123.
- 3. Volkov K.G., Ipatov A.G., Kharanzhevskiy E.V., Shmykov S.N. Vosstanovleniye i uprochneniye rabochey faski klapana dvigatelya vnutrennego sgoraniya metodom selektivnoy lazernoy naplavki (SLM) [Restoration and hardening of the working chamfer of the internal combustion engine valve by selective laser surfacing (SLM)]. Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya. 2022. N9. 20-26 (In Russian).
- 4. Ipatov A.G., Kharanzhevskiy E.V., Volkov K.G. Issledovaniye svoystv keramicheskikh pokrytiy rabochey faski klapanov dvigateley [Investigation of the properties of ceramic coatings of the working chamfer of engine valves]. Sel'skiy mekhanizator. 2022. N3. 42-44 (In Russian).
- 5. Burtsev A.Yu., Plaksin A.M., Gritsenko A.V. Povysheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti turbokompressorov dizeley traktorov [Improving the operational reliability of turbochargers of diesel tractors]. APK Rossii. 2015. Vol. 72. N1. 23-25 (In Russian).
- 6. Bol'shakov V.I., Shmykov S.N., Vaganov D.I. Opredeleniye ugla raspyla elektrodnoy provoloki pri vysokikh skorostyakh naplavki [Determination of the spray angle of the electrode wire at high surfacing speeds]. Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2022. N1(69). 48-55 (In Russian).
- 7. Kharanzhevskiy E.V., Krivilyov M.D., Ipatov A.G., Makarov A.V. Soboleva N.N., Gil'mutdinov F.Z. Effect of oxygen in surface layers formed during sliding wear of Ni-ZrO2 coatings. Surface and Coatings Technology. 2022. Vol. 434. Art. N128174.

- 8. Kharanzhevskiy E.V., Krivilyov M.D., Ipatov A.G., Makarov A.V. Soboleva N.N., Gil'mutdinov F.Z. Tribological performance of boron-based superhard coatings sliding against different materials. Wear. 2021. Vol. 477. Art. N203835.
- 9. Savinyh P., Shirobokov V., Fedorov O., Ivanovs S. Influence of rotary grain crusher parameters on quality of finished product. Engineering for Rural Development: compilation. 2018. 131-136.
- 10. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Kasimov N.G., Shakirov R.R., Markov D.A. Eksperimental'naya ustanovka dlya udaleniya botvy kartofelya [Experimental installation for removing potato tops]. Sel'skiy mekhanizator. 2022. N5. 6-7 (In Russian).
- 11. Shinkarenko S.R. Usovershenstvovaniye konstruktsii rotatsionnogo rykhlitelya [Improvement of the design of the rotary ripper]. Nauchnyye trudy studentov Izhevskoy GSKhA. 2022. Vol. 1 (14). 2314-2316 (In Russian).
- 12. Meschter P.J., Opila E.J., Jacobson N.S. Water vapor-mediated volatilization of high-temperature materials. Annual Review of Materials Research. 2013. Vol. 43. 559-588.
- 13. King W.E., Anderson A.T., Ferencz R.M., Hodge N.E., Kamath C., Khairallah S.A., Rubenchik A.M. Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges. Applied Physics Reviews. 2015. Vol. 2. N4. Art. N041304.1-26.
- 14. Harris S.J., Harris G., Krauss G., Simko S. Abrasion and chemical-mechanical polishing between steel and a sputtered boron carbide coating. Wear. 2002. Vol. 252. 161-169.
- 15. Mozgovoy S., Alik L., Hardell J., Prakash B. Material transfer during high temperature sliding of Al-Si coated 22MnB5 steel against PVD coatings with and without aluminium. Wear. 2019. 426-427. 401-411.
- 16. Ma D., Harvey T.J., Zhuk Y.N., Wellman R.G., Wood R. J.K. Cavitation erosion performance of CVD W/WC coatings. Wear. 2020. Vol. 452-453. Art. N203276.
- 17. Dorokhov A.S., Korneev V.M., Kataev 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).
- 18. 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. N8. 34-37 (In Russian).
- 19. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., et al. The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating // Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 20. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnicheskie materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. N4(149). 37-45 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Ипатов $A.\Gamma.$ — научное руководство, подготовка текста, анализ литературных данных;

Харанжевский Е.В. — научное руководство, анализ литературных данных; Волков К.Г. — подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста;

Шмыков С.Н. – подготовка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Ipatov A.G. – scientific guidance, preparation of the manuscript, analysis of literary data;

Kharanzhevsky E.V. – *scientific guidance, analysis of literature data;*

Volkov K.G. – preparation and analysis of literary data, editing of the manuscript; *Shmykov S.N.* – preparation and editing of the manuscript.

All authors read and approved the final version of the manuscript.

ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Ринат Назирович Сайфуллин, доктор технических наук, профессор, e-mail: bashagregat@mail.ru; Марат Закиевич Нафиков, доктор технических наук, профессор; Ильнур Илдарович Загиров, кандидат технических наук, доцент Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. Порошковые присадочные материалы для электроконтактной приварки применяются редко из-за потерь дорогостоящего порошка при приварке и трудности охлаждения зоны приварки. Однако использование порошковых материалов позволяет получить разнообразные свойства покрытий и увеличить прочность сцепления порошкового покрытия с основным металлом детали. (Цель исследования) Оценить влияние состава порошка и порошковых композиций на твердость, прочность сцепления и износостойкость покрытий, полученных электроконтактной приваркой. (Материалы и методы) Использовали металлические порошки марок ФБХ-6-2, ПГ-С1, ПГ-С27М, «Сормайт», ПЖР3.200.28, ПР-НХ17СР4, ПЖ1С. Определяли прочность сцепления методом среза на прессе марки П-125. Твердость оценивали по стандартной методике по методу Роквелла на твердомере марки ТК-2; износостойкость – на машине трения СМЦ-2. (Результаты и обсуждение) Выявили, что наибольшая прочность сиепления с основным металлом детали (сталь 45) наблюдается у покрытия из порошка марки ПГС-27М при электроконтактной приварке на «жестких» режимах. Зафиксировали наибольшую твердость у покрытия из порошка «Сормайт». Наблюдали наименьший износ у покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций ПЖР3.200.28+Сормайт и ПЖР3.200.28+ВК8. (Выводы) Использование порошковых присадочных материалов для получения покрытий на деталях машин методом электроконтактной приварки позволяет получать покрытия, которые превосходят покрытия, полученные электроконтактной приваркой стальных лент. Прочность сцепления стальных лент, приваренных электроконтактной приваркой на «мягких режимах» порядка 100-200 миллипаскалей, что в 1,2-1,4 раза меньше, чем прочность сцепления порошковых покрытий. Твердость покрытий из стальных лент и проволок достигает HRC 60, а порошковых покрытий до HRC 65.

Ключевые слова: электроконтактная приварка, порошковые покрытия, износостойкие покрытия, прочность сцепления, интенсивность изнашивания.

Для цитирования: Сайфуллин Р.Н., Нафиков М.З., Загиров И.И. Покрытия, полученные электроконтактной приваркой металлических порошков // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 76-83. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-76-83. XXZLLS.

Rinat N. Saifullin, Dr.Sc.(Eng.), professor; Marat Z. Nafikov, Dr.Sc.(Eng.), professor; Ilnur I. Zagirov, Ph.D.(Ped.), associate professor; Bashkortostan State Agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. Powder additive materials for electrocontact welding are rarely used due to the loss of expensive powder during welding and the difficulty of cooling the welding zone. However, the use of powder materials allows you to obtain a variety of coating properties and increase the adhesion strength of the powder coating to the base metal of the part. (Research purpose) The research purpose is evaluating the effect of the composition of powder on the hardness, adhesion strength and wear resistance of coatings obtained by electrocontact welding. (Materials and methods) Metal powders of the FBH-6-2, PG-C1, PG-C27M, Sormayt, PZHR3.200.28, PR-NH17SR4, PZH1S brands were used. The adhesion strength was determined by the cut-off method on a P-125 brand press. Hardness was evaluated according to the standard Rockwell method on a TC-2 hardness tester; wear resistance was evaluated on a SMC-2 friction machine. (Results and discussion) It was revealed that the greatest adhesion strength to the base metal of the part (steel 45) is observed in the coating of the powder of the PGS-27M brand during electrocontact welding on "hard" modes. The highest hardness was recorded in the coating of "Sormite" powder. The least wear was observed in coatings obtained by electrocontact welding of powder compositions PZHR3.200.28+Sormayt and PZHR3.200.28+VK8. (Conclusions) The use of powder additive materials to obtain coatings on machine parts by electrocontact welding makes it possible to obtain coatings that are superior to coatings obtained by electrocontact welding of steel tapes. The adhesion strength of steel tapes welded by electric contact welding on "soft modes" is about 100-200 millipascals, which is 1.2-1.4 times less than the adhesion strength of powder coatings. The hardness of coatings made of steel tapes and wires reaches HRC 60, and powder coatings up to HRC 65.

Keywords: electrocontact welding, powder coatings, wear-resistant coatings, adhesive strength, wear rate.

For citation: Sayfullin R.N., Nafikov M.Z., Zagirov I.I. Pokrytiya, poluchennyye elektrokontaktnoy privarkoy metallicheskikh poroshkov [Coatings made by electric contact welding of metal powders]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 76-83(In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-76-83. XXZLLS.

Введение. К достоинствам электроконтактной приварки (ЭКП) следует отнести высокую производительность процесса, достигающую 100 см^2 /мин; отсутствие нагрева и деформации обрабатываемой детали; незначительную глубину зоны термического влияния (до 0,5 мм); закалку поверхностного слоя непосредственно в процессе ЭКП; небольшой припуск на механическую обработку (до 1,0 мм). Изучение свойств покрытий, полученных ЭКП, отражено в работах [1-4].

Исследование порошковых покрытий, полученных ЭКП, представлено в работах [5,6].

Методика выбора режимов ЭКП приводится в работах [3, 7]. Пути дальнейшего совершенствования процесса ЭКП приведены в статьях [8-10].

В данной работе мы представили результаты исследований порошковых покрытий из порошков, которые ранее редко использовались для ЭКП. Привычный материал для ЭКП – среднеуглеродистая стальная лента, более редким для ЭКП присадочным материалов служит металлический порошок (в

основном стальной). С помощью порошкового материала для ЭКП получают износостойкие, антифрикционные, коррозионно- и эрозионностойкие, жаростойкие покрытия [11-13].

Цель исследования – оценить влияние состава порошка и порошковых композиций на твердость, прочность сцепления и износостойкость покрытий, полученных электроконтактной приваркой.

Материалы и методы. Прочность сцепления определяли методом среза на прессе марки П-125. Твердость выявляли по стандартной методике по методу Роквелла на твердомере марки ТК-2. Износостойкость – с использованием машины трения СМЦ-2. Рассмотрим прочность сцепления порошковых покрытий, полученных ЭКП металлических порошков марок ФБХ-6-2 и ПГС-27М. В качестве материала образцов для ЭКП использовали сталь марки 45. Прочность сцепления порошкового покрытия с основным металлом детали оценивали усилием сдвига порошкового покрытия на срез и вычисляли по формуле (*puc. 1*):

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi db} \ , \tag{1}$$

где F – сила сжатия, H; S – площадь контакта приваренного слоя и детали, M^2 .

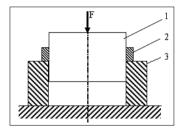


Рис. 1. Схема определения прочности сцепления покрытий, полученных ЭКП: 1- образец; 2- покрытие; 3- закаленное кольцо

Результаты и обсуждение. Значения прочности сцепления покрытий, полученных ЭКП металлических порошков, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения прочности сцепления порошковых покрытий, полученных ЭКП

Марка	Значения	Режимы ЭКП			
порошка	прочности сцепления покрытия на срез, МПа	ток сварки, кА	время импульса, с	время паузы, с	
	66	5,4	0,08	0,2	
ФБХ-6-2	76	6,4	0,08	0,2	
	146	7,5	0,1	0,16	
ПГС-27М	120	6,1	0,08	0,2	
	256	8,3	0,1	0,16	

У порошка ПГС-27М наблюдается наибольшее значение прочности сцепления с основой (в 1,7 раза выше, чем у порошка ФБХ-6-2). Увеличение тока и времени импульса при ЭКП повышает прочность сцепления, однако по-разному для различных порошков: прочность сцепления покрытия из порошка ФБХ-6-2 увеличивается в 1,9 раза, а из порошка ПГС-27М в 2,1 раза.

Для всех порошковых покрытий, полученных ЭКП, прочность сцепления достаточна для работы в условиях трения скольжения. Износостойкость поверхности восстанавливаемой детали в основном определяется твердостью покрытия. Твердость порошковых покрытий, полученных ЭКП, зависела не только от марки используемого металлического порошка, но и от режимов ЭКП. Жесткие режимы ЭКП с обильным охлаждением зоны приварки дают более

твердые порошковые покрытия по сравнению с покрытиями, полученными на мягких режимах ЭКП. Значения твердости порошковых покрытий, полученных ЭКП однородного порошкового материала, привели в таблице 2.

Таблииа 2 Значения твердости порошковых покрытий, полученных ЭКП

Материал порошкового покрытия	Значение твердости покрытия после ЭКП, <i>HRC</i>
ФБХ-6-2	20-60
ПГ-С1	25-55
ПГ-С27М	25-55
Сормайт	30-65
ПЖР3.200.28	HRB 40-60
ПР-НХ17СР4	30-60

Значительные колебания твердости полученных порошковых покрытий объясняются чередованием на поверхности покрытия зон закалки и отпуска при ЭКП, которая ведется на цилиндрическом образце по винтовой линии. Такие участки высокой и низкой твердости обеспечивают создание гетерогенных структур, имеющих повышенную износостойкость (рис. 2).

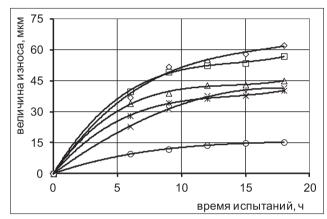


Рис. 2. Износ покрытий, полученных электроконтактной приваркой металлических порошков:

- 40...45 HRC)
- 🗆 с покрытием из стальной стружки стали 45 (0,3...1,0 мм)
- ∆с покрытием из стружки СЧ18
- ×с покрытием из порошка ФБХ-6-2
- ж с покрытием из порошковой композиции: ПЖР3.200.28 (80%)
- + Сормайт (20%)
- ос покрытием из порошковой композиции: ПЖР3.200.28 (70%) BK8 (30%)

Износ эталонного образца, выполненного из стали марки 45 и закаленного до твердости HRC 40-45, незначительно превышает износ покрытия, полученного ЭКП стальной стружки, что можно объяснить пористостью последнего. Износ покрытия, полученного ЭКП чугунной стружки на установившемся режиме трения, меньше на 26% по сравнению с эталонным образцом, что объясняется повышенной твердостью поверхности в результате закалки, отбеливания чугуна (первоначальная твердость стружки из чугуна марки СЧ18 невысокая и составляет НВ 1800-2400), кроме того после ЭКП чугунной стружки в покрытии остается пластинчатый графит, понижающий коэффициент трения скольжения. Интенсивность изнашивания покрытий, полученных ЭКП металлических порошков (кроме порошков марок ПЖР3.200.28+ВК8 и ФБХ-6-2), на установившемся режиме соизмеримая. Наименьший износ наблюдался у покрытия из порошка ФБХ-6-2 и составил после 18 часов испытаний 72% от износа эталонного образца. Также небольшие износы были у покрытий, полученных ЭКП композиций порошков: ПЖР3.200.28+Сормайт и ПЖР3.200.28+ВК8, однако износ контртела (колодочки из серого чугуна) при работе с покрытием из ПЖР3.200.28+ВК8 был катастрофическим уже после 3 ч износных испытаний. Наблюдалось, что при трении скольжения контртела с покрытием, имеющем в своем составе высокотвердые компоненты, контртело изнашивалось более интенсивно, чем с покрытиями с однородными порошками. Поэтому использование высокотвердых компонентов в порошковых композициях нецелесообразно в условиях трения скольжения и их лучше использовать при упрочнении рабочих органов.

Выводы. Наибольшую прочность сцепления с основным металлом детали (сталь 45) наблюдали у порошкового покрытия из порошка марки ПГС-27М при электроконтактной приварке на «жестких» режимах. Наибольшую твердость зафиксировали у порошкового покрытия из порошка Сормайт. Наименьший износ наблюдался у покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций ПЖР3.200.28+Сормайт и ПЖР3.200.28+ВК8, однако контртело (колодочка из серого чугуна) при работе с покрытием из ПЖР3.200.28+ВК8 имело катастрофический износ уже после 3 ч износных испытаний. Использование порошковых присадочных материалов для получения покрытий на деталях машин методом электроконтактной приварки позволяет получать покрытия, которые превосходят покрытия, полученные ЭКП стальных лент. Так, прочность сцепления стальных лент, приваренных ЭКП на «мягких режимах» порядка 100-200 МПа, что в 1,2-1,4 раза меньше, чем прочность сцепления порошковых покрытий. Твердость покрытий из стальных лент и проволок достигает *HRC* 60, а порошковых покрытий – до *HRC* 65.

Использование электроконтактного метода нанесения покрытий с целью получения поверхностных слоев с необходимыми свойствами возможно не только при восстановлении и упрочнении изношенных деталей машин, но и экономически целесообразно при серийном производстве деталей машин, так как данный метод легко автоматизируется и не требует дорогостоящего специального напыляющего или гальванического оборудования.

Библиографический список

- 1. Nafikov M.Z., Akhmarov R.G., Akhmet'yanov I.R., Zagirov I.I., Masyagutov R.F., Yunusbaev N.M. Electric contact welding of a perforated stell strip. Russian Metallurgy (Metally). 2021. Vol. 2021. No. 757-762.
- 2. Nafikov M.Z. Reconditioning of shafts by electric resistance welding of two stell wires. Welding International. 2016. Vol. 30. N3. 236-243.
- 3. Дубровский В.А., Амеличева А.Ю., Потапов А.В., Зыбин И.Н., Зезюля В.В., Меньшиков В.С. Определение рациональных режимов электроконтактной наварки проволокой наружных поверхностей в цилиндрических деталях // Сварка и диагностика. 2018. N3. C. 31-37.
- 4. Серов А.В., Бурак П.И., Латыпов Р.А., Серов Н.В. Критерий возможности использования компактных материалов для получения функциональных покрытий электроконтактной приваркой на цилиндрические поверхности // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2018. N1(83). C. 52-58.
- 5. Наталенко В.С., Сайфуллин Р.Н., Юнусбаев Н.М., Шаймухаметова Д.М. Показатели твердости и микротвердости поверхности покрытия, полученного электроконтактной приваркой порошковых присадочных материалов // Технический

- сервис машин. 2018. Т.133. С.188-195.
- 6. Yunusbaev N.M., Gabitov I.I., Farkhshatov M.N., Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zagirov I.I., Insafuddinov S.Z. Perspective method of restoration of autotractor parts by electrocontact welding of powder materials in the magnetig field. Tribology in Industry. 2019. Vol. 41. N1. 115-125.
- 7. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Соколова В.М. Методика назначения оптимальных режимов электроконтактной приварки // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2019. N6(94). C. 35-39.
- 8. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Левин Э.Л., Нафиков М.З., Наталенко В.С., Исламов Л.Ф., Юферов К.В. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочных материалов из стальных лент // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. N3(111). С. 13-16.
- 9. Нафиков М.З., Сайфуллин Р.Н., Зайнуллин А.А. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочного материала из стальных проволок // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. N2(110). C. 38-43.
- 10. Дубровский В.А., Потапов А.В., Амеличева А.Ю., Зезюля В.В., Зыбин И.Н. Текущее состояние и направления дальнейшего развития технологии электроконтактной наварки проволокой // Сварка и диагностика. 2017. N3. C. 30-33.
- 11. 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. N1. С. 27-31.
- 12. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Ахмедова Т.С., Воробьев Д.А. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственных машин путем нанесения твердосплавных толстослойных покрытий с использованием плазменной наплавки // Металлург. 2017. Т. 60. N11-12. С. 1290-1294.
- 13. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. N2. C. 80-81.
- 14. 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.
- 15. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Добрин Д.А.Совершенствование технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N8. C. 26-31.
- 16. 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.
- 17. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., et al. The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 18. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Триботехнические материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. N4(149). С. 37-45.

References

1. Nafikov M.Z., Akhmarov R.G., Akhmet'yanov I.R., Zagirov I.I., Masyagutov R.F., Yunusbaev N.M. Electric contact welding of a perforated stell strip. Russian Metallurgy

- (Metally). 2021. Vol. 2021. No. 757-762.
- 2. Nafikov M.Z. Reconditioning of shafts by electric resistance welding of two stell wires. Welding International. 2016. Vol. 30. N3. 236-243.
- 3. Dubrovskiy V.A., Amelicheva A.Yu., Potapov A.V., Zybin I.N., Zezyulya V.V., Men'shikov V.S. Opredeleniye ratsional'nykh rezhimov elektrokontaktnoy navarki provolokoy naruzhnykh poverkhnostey v tsilindricheskikh detalyakh [Determination of rational modes of electrocontact welding with wire of external surfaces in cylindrical parts]. Svarka i diagnostika. 2018. N3. 31-37 (In Russian).
- 4. Serov A.V., Burak P.I., Latypov R.A., Serov N.V. Kriteriy vozmozhnosti ispol'zovaniya kompaktnykh materialov dlya polucheniya funktsional'nykh pokrytiy elektrokontaktnoy privarkoy na tsilindricheskiye poverkhnosti [Criterion for the using compact materials to made functional coatings by electrocontact welding on cylindrical surfaces]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina. 2018. N1(83). 52-58 (In Russian).
- 5. Natalenko V.S., Sayfullin R.N., Yunusbayev N.M., Shaymukhametova D.M. Pokazateli tverdosti i mikrotverdosti poverkhnosti pokrytiya, poluchennogo elektrokontaktnoy privarkoy poroshkovykh prisadochnykh materialov [Indicators of hardness and microhardness of the surface of the coating obtained by electrocontact welding of powder additive materials]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2018. Vol. 133. 188-195 (In Russian).
- 6. Yunusbaev N.M., Gabitov I.I., Farkhshatov M.N., Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zagirov I.I., Insafuddinov S.Z. Perspective method of restoration of autotractor parts by electrocontact welding of powder materials in the magnetig field. Tribology in Industry. 2019. Vol. 41. NI. 115-125.
- 7. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Sokolova V.M. Metodika naznacheniya optimal 'nykh rezhimov elektrokontaktnoy privarki [The method of assigning optimal modes of electric contact welding]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina. 2019. N6(94). 35-39 (In Russian).
- 8. Sayfullin R.N., Farkhshatov M.N., Levin E.L., Nafikov M.Z., Natalenko V.S., Islamov L.F., Yuferov K.V. Svoystva pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy prisadochnykh materialov iz stal 'nykh lent [Properties of coatings made by electrocontact welding of filler materials from steel tapes]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2014. N3(111). 13-16 (In Russian).
- 9. Nafikov M.Z., Sayfullin R.N., Zaynullin A.A. Svoystva pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy prisadochnogo materiala iz stal'nykh provolok [Properties of coatings made by electrocontact welding of filler material made of steel wires]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2014. N2(110). 38-43 (In Russian).
- 10. Dubrovskiy V.A., Potapov A.V., Amelicheva A.Yu., Zezyulya V.V., Zybin I.N. Tekushcheye sostoyaniye i napravleniya dal'neyshego razvitiya tekhnologii elektrokontaktnoy navarki provolokoy [The current state and directions of further development of the technology of electric contact welding with wire]. Svarka i diagnostika. 2017. N3. 30-33 (In Russian).
- 11. 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 wearresistant surfacing materials in agricultural engineering]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. Vol. 8. N1. 27-31 (In Russian).
- 12. Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'yev D.A. Povysheniye iznosostoykosti detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin putem naneseniya tverdosplavnykh tolstosloynykh pokrytiy s ispol'zovaniyem plazmennoy naplavki [Increasing the wear resistance of agricultural machinery parts by applying carbide thick-layer coatings using plasma surfacing]. Metallurg. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294 (In Russian).
 - 13. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K.,

- Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovaniye bimetallicheskikh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin [The use of bimetallic steels to increase the resource of working bodies of agricultural machines]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2013. N2. 80-81 (In Russian).
- 14. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Kontrol' geometricheskikh i fiziko-mekhanicheskikh parametrov zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy izmeritel'noy ustanovki [Control of geometrical and physico-mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery using an automated measuring system]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122. 59-62. 31 (In Russian).
- 15. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Dobrin D.A.Sovershenstvovanie tekhnologii uprochneniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Improvement of technology of hardening of working bodies of tillage machines]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2018. N8. 26-31 (In Russian).
- 16. 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 alloying]. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. Vol. 28. N3. 302-320 (In Russian).
- 17. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., et al. The Tribotechnical Properties of Electrosparks with a Secondary Bronze Coating. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 18. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnicheskie materialy dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Tribotechnical materials for maintenance of agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. N4(149). 37-45 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Сайфуллин Р.Н. — проведение экспериментов, подготовка текста; Нафиков М.З. — научное руководство, анализ и доработка текста; Загиров И.И. — проведение экспериментов, подготовка и анализ литературных данных, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Sayfullin R.N. – conducting experiments, preparing the manuscript; Nafikov M.Z. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Zagirov I.I. – conducting experiments, preparing and analyzing literary data, editing the manuscript.

All the authors have read and approved the final manuscript.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НОЖЕЙ ЛЕМЕХОВ КОМПАНИИ «ЛЕМКЕН» МЕТОДОМ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Александр Михайлович Михальченков, доктор технических наук, профессор, e-mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru; Сергей Александрович Феськов, кандидат технических наук, доцент; Нэлли Юрьевна Кожухова, кандидат технических наук, доцент Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация

Реферат. Конструктивное и технологическое исполнение ножей лемехов компании «Лемкен» позволяет обеспечить ресурс до 35-40 гектаров при вспашке тяжелых почв. Сложная технология изготовления, высокая рыночная цена (до 8 тысяч рублей за единицу) и определенный дефицит фирменных ножей на рынке запасных частей вызывает необходимость восстановления этих деталей. Имеющаяся в открытом доступе информация об износах, их численном значении и геометрии недостаточна и не позволяет обоснованно подойти к разработке технологии устранения дефектов формы. Отсутствуют сведения об использования метода ремонтных размеров при применении технологий, основанных на способе термоупрочненных компенсирующих элементов. (Цель исследования) Провести анализ линейных износов ножей составных лемехов компании «Лемкен» для определения возможности их восстановления методом термоупрочненных компенсирующих элементов с использованием ремонтных групп. (Материалы и методы) Отметили, что техническое состояние ножей после их эксплуатации оценивалось по остаточным размерам: ширина детали в нескольких сечениях; расстояние от первого крепежного отверстия до носка; толщина в нескольких точках детали в соответствие с разработанной схемой. (Результаты и обсуждение) Выявили, что максимальный износ носка ножей не исключает возможности дальнейшего их использования. Максимальный износ ножей по толшине также не может служить основанием снятия их с эксплуатации. Причиной предельного состояния ножей становится износ по ширине. (Выводы) Предложили разделить изношенные ножи на три ремонтные группы. Применение метода ремонтных размеров позволяет получить ряд положительных решений, обеспечивающих упрощение технологии.

Ключевые слова: ремонтные группы, восстановление, составные лемеха «Лемкен», термоупрочнение, износостойкое армирование.

Для цитирования: Михальченков А.М., Феськов А.С., Кожухова Н.Ю. Восстановление ножей лемехов компании «Лемкен» методом термоупрочненных компенсирующих элементов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 84-92. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-84-92. SLPIYZ.

RESTORATION OF "LEMKEN" PLOUGHSHARE KNIVES BY THE METHOD OF HEAT-STRENGTHENED COMPENSATING ELEMENTS

Aleksandr M. Mikhalchenkov, Dr.Sc.(Eng.), professor; Sergey A. Feskov, Ph.D.(Eng.), associate professor; Nelli Yu. Kozhukhova, Ph.D.(Eng.), associate professor Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

Abstract. The constructive and technological design of the "Lemken's" ploughshares knives allows providing a resource of up to 35-40 hectares when plowing heavy soils. Complex manufacturing technology, high market price (up to 8 thousand rubles per unit) and a certain shortage of branded knives in the spare parts market necessitates the restoration of these parts. However, the information about wear, their numerical value and geometry available in the public domain is insufficient and does not allow a reasonable approach to the development of technology to eliminate shape defects. There is no information about the use of the repair dimensions method when using technologies based on the method of heatstrengthened compensating elements. (Research purpose) The research purpose is analyzing the linear wear of the knives of the "Lemken" composite ploughshares to determine the possibility of their restoration by the method of heat-strengthened compensating elements using repair groups. (Materials and methods) It was noted that the technical condition of the knives after their operation was assessed by the residual dimensions: the width of the part in several sections; the distance from the first mounting hole to the toe; the thickness at several points of the part in accordance with the developed scheme. (Results and discussion) It was revealed that the maximum wear of the toe of the knives does not exclude the possibility of their further use. The maximum wear of knives in thickness also cannot be a reason for their decommissioning. The reason for the extreme condition of the knives is wear in width. (Conclusions) Proposed to divide worn knives into three repair groups. The use of the repair size method allows us to obtain a number of positive solutions that simplify the technology.

Keywords: repair groups, recovery, compound shares "Lemken", heat strengthening, wear-resistant reinforcement.

For citation: Mikhal'chenkov A.M., Fes'kov A.S., Kozhukhova N.Yu. Vosstanovleniye nozhey lemekhov kompanii «Lemken» metodom termouprochnennykh kompensiruyushchikh elementov [Restoration of "Lemken" ploughshare knives by the method of heatstrengthened compensating elements]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 84-92 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-84-92. SLPIYZ.

Введение. Среди зарубежных компаний – поставщиков плугов на рынок сельскохозяйственной техники Российской Федерации отдельное место занимают пахотные орудия производства компании «Лемкен» [1, 2].

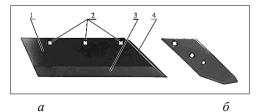


Рис. 1. Подрезающий элемент рабочего органа плуга компании «Лемкен»: a- нож; б- долото

Они надежны, просты в эксплуатации, а детали их рабочих органов обладают значительным ресурсом в силу технологических и конструкционных особенностей. Прежде всего, это относится к подрезающим элементам, которые состоят из двух частей: ножа и долота и представляют собой составные изделия ($puc.\ l,\ a,\ \delta$) [3, 4].

Со стороны полевого обреза имеется г-образный паз 4, пробранный на всю его длину, и предназначенный для стыковки с долотом. Рабочий чертеж ножа лемеха представлен на *рисунке 2, а.* Сменное долото имеет классическую геометрическую форму с наружной заточкой и абразивостойкой наплавкой тыльной стороны (*puc. 1, б*). Следует отметить, что оно не является оборотным в отличие от большинства конструкций таких деталей других зарубежных компаний [4, 5].

Крепление данного конструктивного элемента осуществляется к стойке плуга. Подобное конструктивное и технологическое исполнение лемеха позволяет ему достичь ресурса до 35-40 га при вспашке тяжелых почв за счет возможности замены долота в процессе пахоты и мероприятий, проводимых производителем по упрочнению ножа и долота [6, 7].

Достаточно сложная технология изготовления, высокая рыночная цена (до 8 тыс. руб. за ед.), недостаточный ресурс и некоторый дефицит оригинальных ножей на рынке запасных деталей вызывают необходимость восстановления этих деталей [8, 9].

Между тем сведения, имеющиеся в открытом доступе, об износах, их численном значении и геометрии, позволяющие обоснованно подойти к разработке технологии устранения дефектов формы, образовавшихся вследствие истирания, недостаточны [10, 11].

В частности, отсутствует информация о возможности использования метода ремонтных размеров при применении технологических процессов, основанных на способе термоупрочненных компенсирующих элементов (ТКЭ) (Способ упрочняющего восстановления плужного лемеха: пат. на изобретение RU 2544214 C2 / Михальченков А.М., Якушенко Н.А.; заяв.26.02.2013). Способ заключается в приваривании термоупрочненной компенсирующей изношенной части детали вставки.

Цель исследования — провести анализ линейных износов ножей составных лемехов плугов компании «Лемкен» для определения возможности их восстановления методом термоупрочненных компенсирующих элементов с использованием ремонтных групп.

Материалы и методы. Для деталей, работающих в абразивной среде с незакрепленным абразивом, при контроле определяется линейный износ (Сенин П.В., Кравченко И.Н., Величко С.А., Корнеев В.М., Петровский Д.И., Кузнецов Ю.А., Нуянзин Е.А. Упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных машин: мультимедийный курс лекций // Свидетельство о регистрации базы данных 2021620401, 04.03.2021; заяв. N 2021620241 от 20.02.2021). Это обусловлено тем, что его числовое значение регламентирует работоспособное состояние изделия путем оценки предельного значения. Контроль технического состояния проводили по остаточным размерам ширины детали (h1, h2, h3), измеряемым в сечениях, проходящих через крепежные отверстия. Кроме этого, фиксировали остаточные расстояния от первого крепежного отверстия до носка детали l; толщины ножа ti в 11 точках (puc. 2, δ).

Контур типичного износа ножа показан кривой утолщенной линией на $pucynke\ 2,\ \delta$. Численное значение износов по ширине Δhi , носка $-\Delta l$ и по толщине Δti оценивали как разность между номинальным размером (размером по чертежу) и действительным (остаточным) размером детали, снятой с экс-

плуатации. Измерения осуществляли стандартным измерительным инструментом (штангенциркулем) с ценой деления 0,1 мм. Статистический анализ проводили с помощью *Microsoft Excel*.

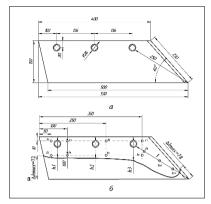
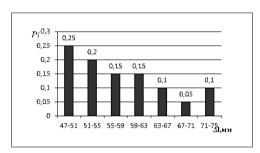


Рис. 2. Чертежи ножа: а – рабочий; б – схема измерения остаточных размеров

Результаты и обсуждение. Износ носка ножа Δl , как следует из гистограммы $\Delta l = f(Pi)$, не превышает 75 мм, что в 3,3 меньше нормированной l равной 250 мм (где Pi – опытная вероятность) (puc. 3).



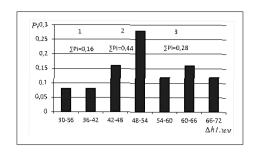
 $Puc.\ 3.\ \Gamma$ истограмма износа носка ножа Δl

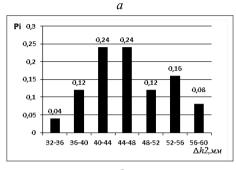
Применительно к ножам лемехов компании «Лемкен» длина стыка равна 230 мм, а максимальный износ $\Delta lmax$ по нему 78 мм, что дает основание говорить о возможности дальнейшего их использования вследствие четкой и надежной фиксации с долотом. Кроме того, следует учитывать следующее: количество деталей с такой величиной износа незначительно и не превышает 10%; нож и долото крепятся к стойке независимо друг от друга. Как показали измерения, максимальный износ ножа по толщине Δti составил около 5 мм с вероятностью 12%, что указывает на возможность его дальнейшей эксплуатации по данному параметру. Более того, ножи с такой толщиной пригодны к восстановлению методом ТКЭ. Реализация метода подробно описана в работе [12].

Причиной предельного состояния ножей компании «Лемкен» в подавляющем большинстве случаев и, как следствие, снятия их с эксплуатации служит износ по ширине. Подобное характерно фактически для всех составных лемехов [13].

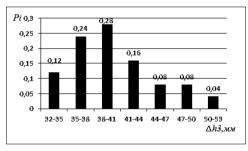
Максимальные износы присущи области пятки ножа, это подтверждается гистограммами (puc. 4).

Ранее при разработке технологических процессов устранения износов плужных лемехов способом ТКЭ исследователи не в полной мере учитывали возможности давно известного и широко применяемого метода ремонтных размеров [14-16].





б



6

Рис. 4. Гистограммы распределения износов по ширине ножа: a — сечение h1 (пятка); b — сечение h2 (средина); b — сечение b (переход b носовой области); b — суммарная вероятность появления ножей b определенным диапазоном износов

Использование вышеуказанного способа позволит внести в технологию ряд существенных положительных моментов:

- снижение расхода металла на изготовление компенсирующих вставок;
- избежание коробления восстановленных деталей за счет выбраковки изношенных изделий, не обеспечивающих нужную жесткость;
- упрощение процесса реставрации и снижение трудоемкости отдельных операций;
- использование стальной полосы с нормированными размерам по ширине и толщине;
- устранение дорогостоящей операции термообработки упрочением двухсторонней армирующей наплавкой электродами, обеспечивающими абразивостойкое покрытие.

Проанализировав гистограммы износов ножей с учетом их максимальной величины в области пятки, предлагается разделить поступившие на восстановление детали на три ремонтные группы. Первая — изделия с износом 30-42 мм; их количество составляет 16%. Вторая — ножи с износом 42-54 мм, при количестве 44%. Третья группа — детали с износом 54-66 мм в количестве 28% (рис. 4, а).

Группы на гистограмме отделены друг от друга вертикальными утолщенными отрезками и обозначены арабскими цифрами. Отдельно нужно сказать о четвертой группе — ножи с такими износами (66-72 мм) при приваривании вставки подвержены деформированию, которое приводит к изгибу восстановленной детали вследствие недостаточной жесткости ремонтируемого изделия. С учетом трех размерных групп изношенных ножей имеется возможность подбора размеров ремонтных вставок в виде поставляемой промышленностью РФ полосы в соответствии с ГОСТ 4405-75.

Многолетний опыт показал, что толщина применяемой полосы должна быть не менее 8 мм с учетом величины износа ножа и снижения вероятности коробления после восстановления. В этом случае первый ремонтной группе ножей соответствует полоса шириной 40 мм; второй — 50 мм; третьей — 65 мм. Некоторые отклонения номинального размера (не более 4 мм при ширине режуще-лезвийной области 60 мм) значительного влияния на качество пахоты не окажут.

Выводы. Поступающие на восстановление ножи лемехов компании «Лемкен» разделены на три ремонтные группы по величине износа: первая – 30-42 мм; вторая – 42-54 мм; третья – 54-66 мм. Использование метода ремонтных размеров позволяет снизить расход металла на изготовление компенсирующих вставок; устранить изношенные ножи, не пригодные к восстановлению по причине коробления; упростить технологический процесс; использовать стальную полосу по ГОСТ 4405-75 для изготовления ремонтных вставок; проводить упрочение двухсторонней армирующей износостойкой наплавкой. Толщина полосы для изготовления компенсирующих элементов должна быть не менее 8 мм; первой ремонтной группе соответствует полоса шириной 40 мм; второй – 50 мм; третьей – 65 мм; отклонения от номинального размера до 4 мм не оказывают влияния на качество пахоты.

Библиографический список

- 1. Анискович Г.И., Ковалев Л.И., Ковалев И.Л. Экономическая эффективность импортозамещающего производства запасных частей для тракторных плугов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N4. C. 10-17.
- 2. Федоров С.Е., Итяйкина Л.И., Малышев Р.С. Обзор зарубежных оборотных плугов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 79-83.
- 3. Козарез И.В., Ториков В.Е., Михальченкова М.А. Анализ и особенности износов плужных лемехов различных конструкций и динамика их изнашивания // Труды инженерно-технологического факультета: сб. науч. трудов Брянск. 2015. С. 128-158.
- 4. Козарез И.В., Михальченкова М.А., Гуцан А.А., Михальченко И.А., Шишкина И.В., Характеристика лемехов импортного производства и приобретенные дефекты // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. 2021. N1. С. 70-84.
- 5. 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). C. 65-71.
- 6. Лискин И.В., Алдошин Н.В., Горбачев И.В., Панов А.И., Совершенствование конструкции плужных лемехов с накладным долотом // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2018. N1(83). C. 15-19.
- 7. Лискин И.В., Панов А.И., Горбачев И.В. Результаты испытаний лемехов с накладным долотом // Сельский механизатор. 2017. N5. C. 8-9.

- 8. 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.
- 9. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Козарез И.В. Износостойкость и ресурс восстановленных и упрочненных двухсторонним наплавочным армированием составных лемехов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. N4(92). C. 65-70.
- 10. Михальченков А.М., Дьяченко А.В., Михальченкова М.А., Гуцан А.А. Определение размеров ремонтных вставок при восстановлении импортных лемехов компании «Кун» // Наука в центральной России. 2021. N4(52). С. 90-96.
- 11. Козарез И.В., Гуцан А.А., Киселева Л.С. Приобретенные дефекты составных импортных лемехов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. N3(79). С. 66-70.
- 12. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Ахмедова Т.С., Воробьев Д.А., Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственных машин путем нанесения твердосплавных толстослойных покрытий с использованием плазменной наплавки //Металлург. 2017. Т.60. N11-12. С. 1290-1294.
- 13. Лобачевский, Я.П. Эльшеих А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. N4. C. 22-25.
- 14. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А. и др. Новые износостойкие напалвочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N1. С. 27-31.
- 15. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов селскохозяйственных машин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. N2. C. 80-81.
- 16. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Шогенов А.Х. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. N3(54). С. 92-95.

References

- 1. Aniskovich G.I., Kovalev L.I., Kovalev I.L. Ekonomicheskaya effektivnost' importozameshchayushchego proizvodstva zapasnykh chastey dlya traktornykh plugov [Economic efficiency of import-substituting production of spare parts for tractor plows]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2018. N4. 10-17 (In Russian).
- 2. Fedorov S.E., Ityaykina L.I., Malyshev R.S. Obzor zarubezhnykh oborotnykh plugov [Overview of foreign revolving plows]. Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. 79-83 (In Russian).
- 3. Kozarez I.V., Torikov V.E., Mikhal'chenkova M.A. Analiz i osobennosti iznosov pluzhnykh lemekhov razlichnykh konstruktsiy i dinamika ikh iznashivaniya [Analysis and features of wear of plowshares of various designs and the dynamics of their wear]. Trudy inzhenerno-tekhnologicheskogo fakul'teta: sbornik nauchnykh trudov. Bryansk. 2015. 128-158 (In Russian).
- 4. Kozarez I.V., Mikhal'chenkova M.A., Gutsan A.A., Mikhal'chenko I.A., Shishkina I.V., Kharakteristika lemekhov importnogo proizvodstva i priobretennyye defekty [Characteristics of imported ploughshares and acquired defects]. Trudy inzhenerno-

- tekhnologicheskogo fakul'teta Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. N1. 70-84 (In Russian).
- 5. 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).
- 6. Liskin I.V., Aldoshin N.V., Gorbachev I.V., Panov A.I., Sovershenstvovaniye konstruktsii pluzhnykh lemekhov s nakladnym dolotom [Improving the design of plowshares with an overhead chisel]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina. 2018. NI (83). 15-19 (In Russian).
- 7. Liskin I.V., Panov A.I., Gorbachev I.V. Rezul'taty ispytaniy lemekhov s nakladnym dolotom [Test results of ploughshares with an overhead chisel]. Sel'skiy mekhanizator. 2017. N5. 8-9 (In Russian).
- 8. 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).
- 9. Mikhal'chenkov A.M., Gutsan A.A., Kozarez I.V. Iznosostoykost' i resurs vosstanovlennykh i uprochnennykh dvukhstoronnim naplavochnym armirovaniyem sostavnykh lemekhov [Wear resistance and service life of composite ploughshares restored and reinforced with double-sided surfacing reinforcement]. Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2022. N4(92). 65-70 (In Russian).
- 10. Mikhal'chenkov A.M., D'yachenko A.V., Mikhal'chenkova M.A., Gutsan A.A. Opredeleniye razmerov remontnykh vstavok pri vosstanovlenii importnykh lemekhov kompanii «Kun» [Determining the size of repair inserts during the restoration of imported ploughshares of the company "Kun"]. Nauka v tsentral'noy Rossii. 2021. N4(52). 90-96 (In Russian).
- 11. Kozarez I.V., Gutsan A.A., Kiseleva L.S. Priobretennyye defekty sostavnykh importnykh lemekhov [Acquired defects of composite imported ploughshares]. Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2020. N3(79). 66-70 (In Russian).
- 12. 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 hardalloy thick-laver coatings using plasma surfacing. Metallurgist. 2017. T. 60. N11-12. 1290-1294. (In Russian).
- 13. Lobachevskiy, YA.P. El'sheikh A.KH Obosnovanie rasstanovki diskovykh rabochikh organov v kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatakh [Justification of the arrangement of disk working bodies in combined tillage units]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2009. N4. 22-25. (In Russian).
- 14. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., et al. 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).
- 15. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovanie bimetallicheskikh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov selskokhozyaystvennykh mashin[The use of bimetallic steels to increase the resource of working bodies of agricultural machines]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2013. N2. 80-81 (In Russian).

16. Ahalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Shogenov A.Kh. Trekhsektsionnyy pochvoobrabatyvayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section tillage unit with universal replaceable working bodies]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. Vol. 14. N3(54). 92-95 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Михальченков А.М. – автор идеи, научное руководство, анализ и редактирование текста; Феськов А.С. – математическая обработка результатов,

Феськов А.С. – математическая обработка результатов, подготовка текста;

Кожухова Н.Ю. – подбор и анализ литературных источников, отработка методики и проведение измерений.

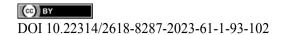
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Mikhalchenkov A.M. – author of the idea, scientific guidance, analysis and editing of the manuscript;

Feskov A.S. – mathematical processing of results, preparation of the manuscript; Kozhukhova N.Yu. – selection and analysis of literary sources, development of methodology and measurement.

All the authors have read and approved the final manuscript.



Применение метода коэрцитиметрии для оценки остаточных напряжений в плоских ножах, упрочненных ТВЧ-борированием

¹Валентин Павлович Лялякин, доктор технических наук, профессор, e-mail: valpal-1938@mail.ru;
²Валерий Иванович Криворотов, кандидат технических наук;
²Борис Евгеньевич Луканин, начальник сектора аттестации и сертификации;
²Рустам Чарыевич Муратов, заместитель начальника научно-испытательного центра;
²Анна Владимировна Толкачёва, ведущий инженер
¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация
²Общество с ограниченной ответственностью «Научно-техническое объединение «ИРЭ-Полюс»,
². Фрязино, Московская обл., Российская Федерация

Реферат. С помощью токов высокой частоты наносятся упрочняющие покрытия повышенной твердости на рабочие органы сельскохозяйственных машин. При оценке эффективности данных методов наряду с изучением основных физико-механических свойств покрытий необходимо знать уровень остаточных напряжений в полученных покрытиях. (Цель исследования) Изучить особенности и оценить возможности применения коэрцитиметрии в качестве объективного и достоверного метода для определения напряженного состояния плоских ножей, упрочненных ТВЧ-борированием. (Материалы и методы) Подготовили для исследования образиы из стали 65Г в исходном состоянии и плоские ножи-косилки, упрочненные ТВЧ-борированием. Выполнили работу в соответствии с действующим ГОСТ 58599-2019 «Техническая диагностика. Диагностика стальных конструкций. Магнитный коэрцитиметнический метод. Общие требования». Применили разрывные машины, магнитный структуроскоп (коэриитиметр) КРМ-Ц-К2М и приборы для определения твердости и микроструктуры. (Результаты и обсуждение) Выполнили на первом этапе расчет ожидаемых значений коэриитивной силы для стали 65Г в зависимости от химического состава. В результате механических испытаний образцов стали 65Г на растяжение с одновременным измерением коэрцитивной силы получили экспериментальные данные для построения тарировочных кривых, которые использовали для определения напряжений в упрочненных образцах ножей после ТВЧ-борирования. Определили, что остаточные напряжения в упрочненных плоских ножах изменяются от 400 до 730 мегапаскалей. Данные напряжения можно считать допустимыми (безопасными), так как предел текучести для стали 65Г составляет 685-785 мегапаскалей. (Выводы) Метод измерения коэрцитивной силы позволяет оценить степень изменения остаточных напряжений в деталях, упрочненных способами ТВЧ-борирования.

Ключевые слова: остаточные напряжения, коэрцитивная сила, твердость, восстановление, упрочнение, прочность. Для цитирования: Лялякин В.П., Криворотов В.И., Луканин Б.Е., Муратов Р.Ч., Толкачёва А.В. Применение метода коэрцитиметрии для оценки остаточных напряжений в плоских ножах, упрочненных ТВЧ-борированием // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 93-102. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-93-102. SNOWJH.

APPLICATION OF COERCYTIMETRY METHOD FOR EVALUATION OF RESIDUAL STRESSES IN FLAT KNIVES

¹Valentin P. Lyalyakin, Dr.Sc.(Eng.), professor;

²Valeriy I. Krivorotov, Ph.D.(Eng.);

²Boris E. Lukanin, head of the certification sector;

²Rustam Ch. Muratov, deputy chief of research and testing center;

²Anna V. Tolkacheva, leading engineer

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

²LLC "Scientific and technical association" IRE-Polus",

Fryazino, Moscow region, Russian Federation

Abstract. With the help of high-frequency currents, hardening coatings of increased hardness are applied to the working bodies of agricultural machines. When evaluating the effectiveness of these methods, along with studying the basic physical and mechanical properties of coatings, it is necessary to know the level of residual stresses in the coatings obtained. (Research purpose) The research purpose is studying the features and evaluate the possibilities of using coercimetry as an objective and reliable method for determining the stress state of flat knives hardened by HDPE boration. (Materials and methods) Samples of 65G steel in the initial state and flat mower knives reinforced with HDPE boration were prepared for the study. Performed the work in accordance with the current GOST 58599-2019 "Technical diagnostics. Diagnostics of steel structures. Magnetic coercive method. General requirements". Bursting machines, a magnetic structroscope (coercitimeter) were used KRM-C-K2M and devices for determining hardness and microstructure. (Results and discussion) At the first stage, the expected values of the coercive force for 65G steel were calculated depending on the chemical composition. As a result of mechanical tests of 65G steel samples for tensile strength with simultaneous measurement of coercive force, experimental data were obtained for constructing calibration curves, which were used to determine stresses in hardened knife samples after HDPE boration. It was determined that the residual stresses in hardened flat knives vary from 400 to 730 megapascals. These stresses can be considered acceptable (safe), since the yield strength for 65G steel is 685-785 megapascals. (Conclusions) The method of measuring coercive force makes it possible to estimate the degree of change in residual stresses in parts hardened by HDPE boration methods.

Keywords: residual stresses, coercive force, hardness, recovery, hardening, strength.

For citation: Lyalyakin V.P., Krivorotov V.I., Lukanin B.E., Muratov R.Ch., Tolkacheva A.V. Primeneniye metoda koertsitimetrii dlya otsenki ostatochnykh napryazheniy v ploskikh nozhakh, uprochnennykh TVCh-borirovaniyem [Application of coercytimetry method for evaluation of residual stresses in flat knives]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. T. 61. N1(150). 93-102 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-93-102. SNOWJH.

Введение. В современном агропромышленном комплексе (АПК) наибо-

лее распространенными методами поверхностной обработки деталей и изделий служат закалка токами высокой частоты (ТВЧ) и электроискровая обработка (ЭИО). Обработку металлоизделий проводят с целью достижения заданных уровней прочности, повышая тем самым служебные характеристики и увеличивая срок эксплуатации. В настоящее время токи высокой частоты стали применять при упрочнении деталей, в первую очередь рабочих органов сельскохозяйственных машин, методом ТВЧ-борирования [1].

Суть его состоит в нанесении на упрочняющую поверхность порошкового материала, содержащего бор, и последующего оплавления токами высокой частоты. Полученное покрытие содержит высокоизностные соединения бора с железом, которые повышают ресурс изделий. При исследовании данного метода возникают проблемы по определению остаточного напряжения в упрочненных слоях металла. Для этих целей существует много методов, связанных с разрушением изделий, изготовлением образцов и невозможностью эксплуатировать далее упрочненную деталь. В промышленности существует большое количество неразрушающих методов контроля (НК) изделий.

Методы контроля качества изделий (деталей) после упрочнения должны отличаться разнообразием, универсальностью и вместе с тем быть достоверными и обладать специфичностью. Внедрение новых методов НК требует оперативного решения целого комплекса проблем по внедрению (интеграции) их в производство. Усложняет ситуацию отсутствие на предприятиях обученных специалистов, существует объективная потребность в средствах измерения, их поверки и регистрации, а также отсутствие национальных стандартов по вопросам НК, в том числе магнитометрического контроля. Все это требует изменения стратегии развития не только предприятия и отрасли в целом, но и всей страны. И тогда важное место занимает стандартизация - один из механизмов достижения приоритетных национальных целей развития России, таких как модернизация производства и повышения качества отечественной продукции. При создании нормативной базы по внедрению новых методов НК необходимо учитывать современный передовой опыт и базироваться на использовании принципов «опережающей стандартизации». Это позволит предъявлять научно-обоснованные и практически осуществимые актуальные технические требования при разработке нормативной и руководящей документации, регламентирующей широкое применение прогрессивных методов НК в сфере промышленного производства.

Достаточно хорошо известно, что метод НК измерением и контролем значений коэрцитивной силы Hc служит наиболее простым и надежным для определения напряженного состояния заготовок, полуфабрикатов, деталей, изделий, металлоконструкций, оборудования и других объектов диагностики. Метод использует высокую чувствительность физической характеристики металла — коэрцитивной силы к структурным и механическим изменениям, происходящим под воздействием процессов, возникающих при изготовлении и эксплуатации оборудования и металлоконструкций. Метод измерения Hc применим для определения остаточных напряжений, возникающих в корпусах оборудования и несущих металлоконструкциях, вызванных термическим, механическим или другим воздействием, а также различными схемами нагружения при эксплуатации [2-6].

Однако существующей нормативной методологической базы для этого метода магнитометрического контроля явно недостаточно, чтобы занять достойное место среди признанных методов НК.

Цель исследования — изучить особенности и оценить возможности применения коэрцитиметрии в качестве объективного и достоверного метода для определения напряженного состояния плоских ножей, упрочненных ТВЧ-борированием.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования были использованы плоские ножи, изготовленные из стали 65Г и упрочненные ТВЧ-борированием, а также образцы 65Г в исходном состоянии [7].

Для исследования остаточного напряжения использовали ГОСТ 58599-2019 «Техническая диагностика. Диагностика стальных конструкций. Магнитный коэрцитиметрический метод. Общие требования». И ряд руководящих документов по практическому контролю напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса изделий. Для измерения коэрцитивной силы использовали магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М.

Результаты и обсуждение. На первом этапе исследований выполнили расчеты по определению значений коэрцитивной силы в зависимости от химического состава стали 65Г, из которой были изготовлены образцы [8-11].

Поскольку между химическим составом и значениями Нс существует достаточно устойчивая взаимосвязь, провели предварительный расчет ориентировочного среднего (ожидаемого) значения Hc (A/cм) сталей типа 65 Γ для использования в дальнейшем в качестве первичного информационного параметра ($maбл.\ 1$). $Taблица\ 1$

Предварительный расчет ориентировочного среднего (ожидаемого) значения Нс (А/см) образцов исследуемых сталей по данным химического анализа

M	Содержание элементов, % по массе							
Марка стали	С	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Мо	V
Коэффициенты в формуле (1)	16	2	0,9	0,6	3	12	1,5	-
Значения Нс (А/см) г	олучены п				Si %· 2) +	(Mn% · (),9) +(Cr%	6 · 0,6)
			(Ni% ·3) (. /				
		Плоский р	азрывно	й образе	Ц			
По протоколу испытаний	0,62	0,26	0,92	0,049	0,013	<0,002	0,005	0,001
Поэлементно	9,92	0,52	0,828	0,029	0,039	0,024	0,007	-
Суммарно, (А/см)			Н	c = 11,36	≈ 11,4			
		Натурні	ый образ	ец ножа				
По протоколу испытаний	0,7	0,24	0,95	0,05	0,015	<0,002	0,003	0,001
Поэлементно	11,2	0,48	0,205	0,03	0,045	0,024	0,004	-
Суммарно, (А/см)	$Hc = 11,98 \approx 12$							
Сталь 65Г Марочник сталей	0,62/0,7	0,17/0,37	0,9/1,2	≤0,25	≤0,25	≤0,2	-	-
Материал плоского образца и образца ножей соответствует стали марки 65Г								
С учетом поправочн	ых коэффи	циентов [6]	на терм	ообработ	гку (закал	тку и отп	уск)	
Плоский разрывной	образец: <i>Н</i>	c = 11,4 A/c	м; натур	ный обра	азец ножа	a: $Hc = 12$	А/см	
Поправочные коэфф $\alpha_{3ak} = 0.003 \text{ кA/m/1}^{\circ}$ 1кA/m/1° (-0.04 A/c)	C (0,03 A/c	м/1 °C) при	$\dot{H}c = [4-$,004

Из *таблицы 1* следует, что у образцов из стали 65 Γ в исходном (до упрочнения) состоянии, рассчитанные по химическому составу значения Hc составляют: Hc = 11,4 А/см (плоский образец) и Hc = 12 А/см (нож). Экспериментальные измеренные средние значения Hc равны: Hc = 7,0 А/см в плоском образце; Hc = 7,6 А/см в образце ножа (ma6n. 2).

С учетом стабилизирующего отжига исследуемых образцов при температуре 120 °C расчетным путем получаем: $0.04 \times 120 = 4.8$, т. е. фактические зна-

чения Hc исследуемых образцов составляют: $\Delta Hc = 11,4-4,8=6,6$ А/см – плоский образец; $\Delta Hc = 12-4,8=7,2$ А/см. Погрешность при определении значений Hc расчетом и измерением составляет 5,5-6,1%, что свидетельствует о хорошей сходимости и достоверности экспериментальных и расчетных данных. Для изменения значений Hc металла исследуемых образцов использовали магнитный структуроскоп (коэрцитиметр) КРМ-Ц-К2М.

Таблица 2 Экспериментальные значения Hc плоских образцов из стали 65Г до упрочнения

Zowa navona	Результат замера, Нс, А/см				
Зона замера	1	2	3	среднее	
Плоский разрывной образец толщиной 4 мм					
1 II	7,7	7,6	7,6	7,6	
2 II	7,2	7,1	7,1	7,1	
2⊥	8,0	7,9	7,9	7,9	
3 II	7,5	7,4	7,4	7,4	
Среднее вдоль II $Hc = 7,4$; среднее поперек $\perp Hc = 7,9$ средние в образце $Hc = 7,6$					

Примечание: Средняя твердость плоского образца составила HRC = 28.

В соответствии с данными $maблицы\ 2$ можно отметить, что измеренные значения Hc в поперечном (\bot) направлении плоского образца превосходят значения, измеренные в продольном (II) направлении в среднем на 12%. Неравномерность значений Hc образцов находится примерно на одном уровне, что свидетельствует о неравномерности их напряженного состояния. Однако эта неравномерность не выходит за пределы погрешностей измерений Hc и точности расчетов. Поскольку в реальных условиях эксплуатации «работают» обе поверхности ножей, проводили измерения значений Hc до упрочнения с обеих рабочих поверхностей образцов ножей ($maбл.\ 3$).

Таблица 3 Экспериментальные значения Нс образцов ножей до упрочнения

	Экспериментальные значения Нс, А/см				
Марка стали/номер	до упрочнения				
образца сталь 65Г	вдоль, <i>Hc</i> II поперек <i>Hc</i> ⊥ вдоль, <i>Hc</i> II		поперек <i>Нс</i>		
	Лиц	евая	Оборотная		
Исходный/0	6,4 7,8		6,4	7,6	
C	6,4 7,7				
Среднее	7,0				

Примечание. Средняя твердость образца ножа составила HRC = 30.

Из таблицы 3 следует, что значения Hc образцов ножей в поперечном (\bot) направлении превосходят значения, измеренные в продольном (II) направлении, в среднем на 20%, что свидетельствует о неравномерности их напряженного состояния. Однако неравномерность значений Hc образцов с лицевой и оборотной сторон в соответствующих направлениях составляет не более 2,6%, причем только в поперечном (\bot) направлении измерений. Значения Hc вдоль (II) ножей практически совпадают. Поэтому в расчетах правомерно использовать средние (с лицевой и оборотной) значения Hc = 7.0 А/см, погрешность при этом не превысит 9,4-10%, что не выходит за пределы погрешностей измерений Hc и точности расчетов. Типичная микроструктура плоских образцов и образцов ножей перед упрочнением представлена на pucynke. I.

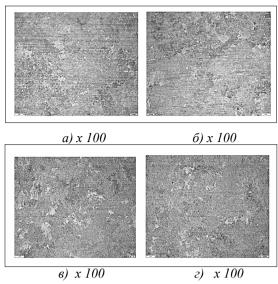


Рис. 1. Микроструктура образцов ножей (a, в) и плоских образцов (б, ε) впоперечном (a, б) направлении и продольном (в, ε) направлении относительно проката

Из рисунка I следует, что у исследуемых образцов микроструктура в поперечном и продольном направлении относительно проката достаточно равномерная. Следов ярко выраженной текстуры (преимущественно ориентированной в направлении прокатки формы зерен), приводящей к анизотропии механических свойств, не обнаружено. Это подтверждают также результаты измерения твердости и значений Hc образцов.

При проведении механических испытаний в процессе одноосного растяжения образцов выполняли измерение Hc на начальной стадии нагружения в области упругой деформации, а также при пластическом течении и в начальной фазе разрушения. Измерение проводили при расположении полюсных магнитодатчиков вдоль и поперек направлению усилий нагружения при статическом растяжении образцов. С учетом результатов этих испытаний строили графическую зависимость в координатах $\sigma-Hc$, которую использовали в настоящем исследовании в качестве тарировочной кривой ($puc.\ 2$).

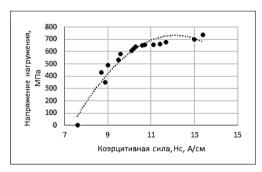


Рис. 2. Зависимость значений Hc от напряжения в процессе нагружения образца при перпендикулярном (\perp) расположении магнитных линий относительно направления приложения нагрузки (тарировочная кривая)

Построение тарировочной зависимости в координатах «напряжение— коэрцитивная сила» выполняли по результатам механических испытаний. При построении тарировочных зависимостей $\sigma-Hc$ использовали показания магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М, полученные непосредственно при проведении механических испытаний с измерением значений Hc. При этом для построения

указанной зависимости принимали во внимание значения Hc, измеренные только в перпендикулярном (\bot), наиболее чувствительном к изменению Hc направлении относительно направления приложения нагрузки, чем в параллельном (II). Полученная зависимость при использовании ее в качестве тарировочной кривой с достаточной точностью и достоверностью позволяет оценить напряженное состояние диагностируемых изделий и определить уровень напряжений, действующих в отдельных элементах и изделии в целом, применяя экспериментально измеренные на соответствующих участках значения коэрцитивной силы.

Экспериментальные значения Нс образиов ножей в состоянии после упрочнения

Таблииа 4

	Экспериментальные значения Нс, А/см					
Марка стали/	после упрочнения					
номер образца сталь 65Г	вдоль	, Hc II	поперек Нс⊥			
	лицевая	оборотная	лицевая	оборотная		
	Наплавка ТВЧ с б	ором и последующа	я термообработка			
Упрочненный/1	10,7	11,9	8,4	10,2		
C	11	1,3	9,3			
Средние	10,3					
Упрочненный /2	12,1	12,5	11,7	12,0		
C	12	2,3	11,85			
Средние	12,0					
·	Наплавка Т	ВЧ с бором без терм	ообработки			
Упрочненный /3	9,1	9,0	8,9	8,6		
C	9,	05	8,75			
Средние	8,9					
Упрочненный /4	9,4	9,5	10,7	10,7		
Средние	9,	45	10,7			
	10,0					

Из *таблицы* 4 следует отличие значений Hc, измеренных с лицевой и обратной стороны ножей, вне зависимости от процесса упрочнения составляет в поперечном (\bot) направлении измерений не более 10,7%, а в продольном (Π) не более 5,6%. Поэтому в расчетах правомерно также использовать средние (с лицевой и оборотной) значения Hc после конкретного вида термообработки, погрешность при этом не превысит 1,7-10%, что вполне допустимо.

Зависимость между экспериментальными значениями Hc и режимами различных способов упрочнения, определяющими тепловую энергию, вложенную в металл образцов, представлена на *рисунке 3*.

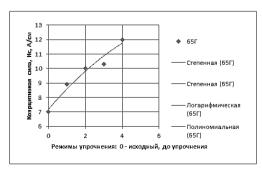


Рис. 3. Зависимость значений Hc от режимов упрочнения: 0 – исходный (до упрочнения); режимы 1, 2 – упрочнение ТВЧ с бором с последующей термообработкой; режимы 3, 4 – упрочнение ТВЧ с бором без термообработки

Напряженно-деформированное состояние металла исследуемых образцов до и после упрочнения оценивали по уровню действующих остаточных напряжений. Для этого использовали тарировочную кривую и по измеренным значениям Hc определяли напряжения в образцах. Из maблиц 3, 4, а также тарировочной кривой на pucynke 2 средние значения Hc = 7,1- 7,6 A/ см исследуемых образцов свидетельствуют о том, что остаточные напряжения в них в исходном (до упрочнения) состоянии практически отсутствуют. Из pucynka 3 следует, что максимальные значения Hc получены на образцах ножей после упрочнения ТВЧ с бором и последующей термообработкой (режим 2: Hc = 12,0 A/см). После упрочнения ТВЧ-борированием без термообработки на режиме 3 отмечены минимальные значения Hc, которые составили 8,9 A/см.

После упрочнения ТВЧ и последующей термообработки на режиме 1 получены значения Hc = 10.3 А/см, а после такого же упрочнения на режиме 4 получены значения Hc = 10.0 А/см.

Это говорит о том, что остаточные напряжения в образцах исследуемых ножей в зависимости от способа их упрочнения находятся на уровне от 400 $(Hc \bot = 8.9 \text{ A/cm})$ до 730 МПа $(Hc \bot = 12 \text{ A/cm})$. Такие напряжения можно считать допустимыми и безопасными, так как предел текучести для сталей типа 65 Γ в закаленном состоянии составляет $\sigma_{0.2}$ = 685-785 МПа. Если учесть, что разрушение исследуемых образцов при статическом растяжении произошло при Hc = 13.4 A/cm, то значения Hc = 12.0 A/cm правомерно принять за допустимые, но приближающиеся к критическим. Полученные результаты использованы нами для ориентировочного расчета остаточного ресурса после упрочнения изделий. Если с учетом данных нормативной документации и собственного опыта, условно принять значения Hc = 12.5 A/cм за критические, то предлагаем расчет ориентировочного прогнозируемого ресурса работы упрочненных образцов ножей в условиях эксплуатации с заданной нагрузкой, в зависимости от режимов упрочнения. Абсолютное значение $\Delta Hc = Hc \ \kappa put - Hc \ ucx = 12.5 - 7.6 = 4.9 \ A/cm$. Относительное значение равно $\Delta Hc/Hc ucx = 0.64$ что принимаем за 100% (проектный) ресурс ножей.

Выводы. Показана возможность применения коэрцитиметрии в качестве объективного и достоверного метода для определения напряженного и структурного состояния, а также для прогнозирования ресурса изделий из сталей типа 65Γ после термического воздействия при упрочнении. Метод коэрцитиметрии достаточно достоверен и эффективен для оценки остаточных напряжений упрочненных ножей ТВЧ-борированием. Определили, что коэрцитивная сила у упрочненных ножей составляет 12~A/cm (730 МПа), что ниже предела текучести стали 65Γ $\sigma_{0,2}$ равной 785~МПа.

Для широкого внедрения метода магнитного контроля измерением коэрцитивной силы необходима разработка и утверждение нормативных документов (стандартов, методик и др.) с регистрацией их в Росстандарте в установленном порядке.

Библиографический список

- 1. Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Ишков А.В., Кравченко И.Н., Кузнецов Ю.А., Свойства износостойких композиционных покрытий, полученных скоростным борированием // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2022. N2. С. 47-56.
- 2. Богачёва Н.Д. Расширение возможности применения метода коэрцитивной силы // В мире неразрушающего контроля. 2005. N2(28). С. 8-10.
- 3. Безлюдько Г.Я., Ёлкина Е.И., Карабин В.В., Попов Б.Е., Криворотов В.И. Новый подход к оценке состояния сварных соединений // Мир сварки. 2010. N15. C. 44-49.

- 4. Клюев В.В., Сандомирский С.Г. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей. М.: Спектр. 2017. 248 с.
- 5. Криворотов В.И., Шмелёв С.А., Богданов А.В., Муратов Р.Ч., Грезев Н.В., Зайцев Л.А. Применение метода козрцитиметрии для оценки уровня остаточных напряжений при термической обработке железнодорожных колес // Сварочное производство. 2021. N6. C. 42-50.
- 6. Аулов В.Ф., Ишков А.В., Иванайский В.В., Лялякин В.П., Кривочуров Н.Т. Влияния легирования бором на структуру сварочных швов для стали 65Г// Сварочное производство. 2018. N5. C. 38-42.
 - 7. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение. 2001. 672 с.
- 8. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А. и др. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N1. C. 27-31.
- 9. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Ахмедова Т.С., Воробьев Д.А. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственных машин путем нанесения твердосплавных толстослойных покрытий с использованием плазменной наплавки. Металлург. 2017. Т.60. N11-12. 1290-1294.
- 10. Измайлов А.Ю., Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронова А.В., Лужнова Е.С. Применение теории подобия для моделирования износа почворежущих лезвий в искусственной абразивной среде // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. No. C. 48-51.
- 11. Измайлов А.Ю., Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронова А.В., Лужнова Е.С. Моделирование износа грунторезных лезвий в искусственной абразивной среде на основе теории подобия. // Российские сельско-хозяйственные науки. 2017. Т. 43. N1. 71-74.

References

- 1. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Svoystva iznosostoykikh kompozitsionnykh pokrytiy, poluchennykh skorostnym borirovaniyem [Properties of wear-resistant composite coatings obtained by high-speed boration]. Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin. 2022. N2. 47-56 (In Russian).
- 2. Bogacheva N.D. Rasshireniye vozmozhnosti primeneniya metoda koertsitivnoy sily [Expanding the possibility of using the coercive force method]. V mire nerazrushayushchego kontrolya. 2005. N2(28). 8-10 (In Russian).
- 3. Bezlyud'ko G.Ya., Elkina E.I., Karabin V.V., Popov B.E., Krivorotov V.I. Novyy podkhod k otsenke sostoyaniya svarnykh soyedineniy [A new approach to assessing the condition of welded joints]. Mir svarki. 2010. N15. 44-49 (In Russian).
- 4. Klyuyev V.V., Sandomirskiy S.G. Analiz i sintez strukturochuvstvitel'nykh magnitnykh parametrov staley [Analysis and synthesis of structure-sensitive magnetic parameters of steels]. Moscow: Spektr. 2017. 248 (In Russian).
- 5. Krivorotov V.I., Shmelëv S.A., Bogdanov A.V., Muratov R.Ch., Grezev N.V., Zaytsev L.A. Primeneniye metoda kozrtsitimetrii dlya otsenki urovnya ostatochnykh napryazheniy pri termicheskoy obrabotke zheleznodorozhnykh koles [Application of the method of coercimetry to assess the level of residual stresses during the heat treatment of railway wheels]. Svarochnoye proizvodstvo. 2021. No. 42-50 (In Russian).
- 6. Aulov V.F., Ishkov A.V., Ivanayskiy V.V., Lyalyakin V.P., Krivochurov N.T. Vliyaniya legirovaniya borom na strukturu svarochnykh shvov dlya stali 65G [Effects of boron alloying on the structure of welding seams for 65G steel]. Svarochnoye proizvodstvo. 2018. N5. 38-42 (In Russian).
- 7. Marochnik staley i splavov [Steels and Alloys: reference book]. Moscow: Mashinostroyeniye. 2001. 672 (In Russian).
 - 8. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., et al. 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).

- 9. 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 (In Russian).
- 10. Izmaylov A.YU., Liskin I.V., Lobachevskiy YA.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S. Primenenie teorii podobiya dlya modelirovaniya iznosa pochvorezhushchikh lezviy v iskusstvennoy abrazivnoy srede [Application of similarity theory for modeling the wear of soil-cutting blades in an artificial abrasive medium]. Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka. 2016. N6. 48-51 (In Russian).
- 11. Izmaylov A.YU., Liskin I.V., Lobachevskiy YA.P., Sidorov S.A., KHoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S. Modelirovanie iznosa gruntoreznykh lezviy v iskusstvennoy abrazivnoy srede na osnove teorii podobiya [Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory]. Rossiyskie sel'skokhozyaystvennye nauki. 2017. Vol. 43. N1. 71-74.

Заявленный вклад соавторов

Лялякин В.П. – научное руководство, анализ и доработка текста;

Криворотов В.И. – проведение измерений коэрцитивной силы,

обработка результатов механических испытаний и металлографических исследований, анализ литературных данных написание текста статьи;

Луканин Б.Е. – проведение измерений коэрцитивной силы,

подготовка образцов, проведение и анализ результатов механических испытаний, подготовка литературных данных;

Муратов Р.Ч. – проведение и анализ результатов механических испытаний и металлографических исследований;

Толкачёва А.В. – проведение измерений коэрцитивной силы, обработка результатов механических испытаний и металлографических исследований,подготовка литературных данных;

Все авторы ознакомились и согласовали окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Lyalyakin V.P. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Krivorotov V.I. – conducting coercive force measurements, processing the results of mechanical tests and metallographic studies, preparation and analysis of literary data, writing the manuscript;

Lukanin B.E. – conducting coercive force measurements, sample preparation, conducting and analyzing the results of mechanical tests, preparation of iterature data; Muratov R.Ch. – conducting and analyzing the results of mechanical tests and metallographic studies;

Tolkacheva A.V. – conducting coercive force measurements, processing the results of mechanical tests and metallographic studies, preparing literary data, writing the manuscript.

All the authors have read and approved the final manuscript.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИЛНЫХ КОМПОЗИТОВ

Елена Александровна Радайкина, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kotina.alena1992@yandex.ru; Александр Владимирович Котин, доктор технических наук, профессор Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация

Реферат. Антифрикционные самосмазывающиеся полимерные композиты находят все более широкое применение для изготовления деталей трибосопряжений мащин. (Цель исследования) Изучить трибологические свойства полиамидных композитов, наполненных дисульфидом молибдена MoS_2 и conoставить полученные значения с чистым полиамидом 6. (Материалы и методы) Проводили компаундирование на лабораторном двухроторном смесителе HAAKE PolyLab Pheomix 600 OS с роторами Roller при температуре 230 градусов Цельсия и частоте вращения роторов 50 оборотов в минуту до достижения постоянных значений крутящего момента и температуры расплава. Определили, что концентрация дисульфида молибдена варьировалась от 2 до 10 процентов. Изготовили для эксперимента цилиндрические образцы методом горячего трансферного формования на гидравлическом прессе Gibitre GT-7014-H50C диаметром 2 ± 0.01 миллиметров, длиной 5 ± 0.1 миллиметров. Провели триботехнические испытания на разработанной приставке к реометру HAAKE MARS III. (Результаты и обсуждение) Установили, что добавление в полиамид 6 дисульфида молибдена значительно повышает износостойкость композита за счет снижения коэффициента трения. При этом содержание данного наполнителя в компаунде не должно превышать примерно 5 процентов. (Выводы) В результате проведенных экспериментальных исследований установили, что введение дисульфида молибдена в полиамид 6 значительно повышает износостойкость композита. С учетом ранее проведенных исследований физико-механических свойств данных композитов рекомендуем концентрацию в них дисульфида молибдена в диапазоне от 2 до 5 процентов. Полученные полимерные композиции могут успешно применяться для изготовления деталей трибосопряжений как новых, так и отремонтированных машин.

Ключевые слова: полимерные материалы, триботехнические свойства, полиамидные композиты, дисульфид молибдена, износостойкость, детали трибосопряжений.

Для цитирования: Радайкина Е.А., Котин А.В. Исследование триботехнических свойств полиамидных композитов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 103-109. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-103-109. VXMXRW.

STUDY OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE COMPOSITES

Elena A. Radaykina, Ph.D.(Eng.), associate professor; Aleksandr V. Kotin, Dr.Sc.(Eng.), professor

Mordovia State University. N.P. Ogareva, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation

Abstract. Antifriction self-lubricating polymer composites are increasingly being used for the manufacture of parts of tribo-conjugation machines. (Research purpose) The research purpose is studying the tribological properties of polyamide composites filled with molybdenum disulfide MoS₂ and compare the obtained values with pure polyamide 6. (Materials and methods) Compounding was carried out on a laboratory two-rotor mixer HAAKE PolyLab Pheomix 600 OS with Roller rotors at a temperature of 230 degrees Celsius and a rotor speed of 50 revolutions per minute until constant values of torque and melt temperature were reached. It was determined that the concentration of molybdenum disulfide varied from 2 to 10 percent. Cylindrical samples were made for the experiment by hot transfer molding on a Gibitre GT-7014-H50C hydraulic press, with a diameter of 2 ± 0.01 millimeters, a length of 5 ± 0.1 millimeters. Tribotechnical tests were carried out on the developed prefix to the HAAKE MARS III rheometer. (Results and discussion) It was found that the addition of molybdenum disulfide to polyamide 6 significantly increases the wear resistance of the composite by reducing the coefficient of friction. At the same time, the content of this filler in the compound should not exceed about 5 percent. (Conclusions) As a result of the conducted experimental studies, it was found that the introduction of molybdenum disulfide into polyamide 6 significantly increases the wear resistance of the composite. Taking into account the previously conducted studies of the physical and mechanical properties of these composites, the concentration of molybdenum disulfide in them in the range from 2 to 5 percent is recommended. The resulting polymer compositions can be successfully used for the manufacture of tribo-coupling parts of both new and refurbished machines.

Keywords: polymeric materials, tribological properties, polyamide composites, molybdenum disulfide, wear resistance, details of tribocouples.

For citation: Radaykina E.A., Kotin A.V. Issledovaniye tribotekhnicheskikh svoystv poliamidnykh kompozitov [Study of tribotechnical properties of polyamide composites]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 103-109 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-103-109. VXMXRW.

Введение. В связи с непростой экономической ситуацией в стране, разрывом логистических цепочек поставок запасных частей зарубежными производителями тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин, оборудования у агропромышленных предприятий сложилась непростая ситуация в области их технического сервиса. Это в первую очередь относится к деталям, изготовленным из полимерных материалов.

Изготовление таких запчастей на российских предприятиях осложняется отсутствием в стране необходимых отечественных конструкционных полимерных композитов, по качеству не уступающих зарубежным аналогам. Прежде всего это касается деталей, работающих в условиях трения: сальников, уплотнительных манжет и колец, направляющих и т. д. Создание отечественных материалов с улучшенными триботехническими характеристиками становится актуальной задачей. Причем эффективное ее решение видится в поиске модификаторов, добавляемых в базовый полимер и позволяющих обеспечить высокую эксплуатационную надежность изготовленных запасных частей.

Таким базовым полимером может служить полиамид 6 (капролон, ΠA 6), который в настоящее время производится в России и служит основным коммерческим полимером антифрикционного назначения. Данный материал хо-

рошо перерабатывается, а также имеет низкий коэффициент трения и обладает эффектом самосмазывания. Для направленного изменения свойств ПА 6 модифицируют различными наполнителями (дисульфид молибдена, шунгит, графит, рубленное углеродное волокно, стеарат кальция и др.) [1-4].

Дисульфид молибдена представляет собой бюджетный антифрикционный наполнитель, поскольку при его введении образуется поверхностный слой, значительно снижающий коэффициент трения [5-7].

Ранее была изучена зависимость упруго-прочностных характеристик полиамидных композитов от содержания дисульфида молибдена [8].

В работе показано, что оптимальная концентрация данного наполнителя составляет не более 5%.

Цель исследования — изучить трибологические свойства полиамидных композитов, наполненных дисульфидом молибдена MoS_2 и сопоставить полученные значения с чистым полиамидом 6 (ПА 6).

Материалы и методы. Компаундирование проводили на лабораторном двухроторном смесителе *HAAKE PolyLab Pheomix 600 OS* с роторами *Roller* при температуре 230 °C и частоте вращения роторов – 50 мин⁻¹ до достижения постоянных значений крутящего момента и температуры расплава [9].

Концентрация дисульфида молибдена варьировалась от 2 до 10% масс. с шагом 4%. Для эксперимента изготовили цилиндрические образцы методом горячего трансферного формования на гидравлическом прессе *Gibitre GT-7014-H50C*, диаметром \emptyset 2 ± 0,01 мм, длиной 5 ± 0,1 мм.

Для проведения триботехнических испытаний полимеров была разработана трибометрическая приставка к реометру *Haake MARS III (рис. 1)*.

Данный прибор обеспечивает вертикальные нагрузки до $50 \pm 0,001~H$; температуры — $(-40-400) \pm 0,1$ °C, частоты вращения ротора $10^{-7}-1500$ мин⁻¹; крутящий момент $10-0,2~Hm \pm 0,1~Hm$.



Рис. 1. Внешний вид трибометрической приставки к реометру Haake MARS III

Разработанная приставка включает диск с прикрепленным винтами стаканом с расположенным в нем диском-контртелом из стали 45 с рабочей поверхностью, отшлифованной до $R_a = 2,5$ мкм. Диск опирается на шар диаметром 3,5 мм и удерживается от вращения штифтом, запрессованным в стакан. Монтажный диск с перечисленными деталями прижат к обогреваемому столику реометра накидной гайкой [10].

Испытуемые образцы в количестве 3 шт. устанавливают с одинаковым шагом в глухие отверстия, выполненные в обогреваемом роторе по диаметру D=26 мм. Приставка снабжена теплозащитным экраном. Перед проведением испытаний образцы притирали по мелкозернистой наждачной бумаге P1200 (ISO 6344) с размером зерна 10-14 мкм.

Для этого наждачную бумагу в форме диска зажимали накидной гайкой. При притирке на приборе задавали следующие параметры: температуру 25 °C; частоту вращения ротора $10\,$ мин⁻¹; вертикальное усилие на роторе $2\,H$ (контактное давление $0,21\,$ МПа). При данных условиях средние значения крутящего момента и вертикального усилия на роторе в течение $20-30\,$ мин выходили на постоянное значение. При испытаниях на трение использовали масло U-20A. Его заливали в стакан в количестве, достаточном для покрытия поверхности контртела. Притертые образцы предварительно выдерживали в масле до достижения ими постоянного веса. В эксперименте непрерывно регистрировали момент трения, H:M; температуру в зоне контакта, °C; частоту вращения ротора, мин⁻¹; вертикальное усилие на роторе, H; время испытания, c.

После каждого цикла испытаний образцы и контртело промывали этиловым спиртом и высушивали в вакуумном шкафу BinderVD 23. Взвешивание проводили с точностью \pm 0,1 мг для каждого образца отдельно в трехкратной повторности на аналитических весах СЕ 124-С. Монтаж каждого образца при продолжении испытаний производили в первичной ориентации в свое гнездо прибора. Коэффициенты сухого трения и трения со смазкой (в среде масла И-20А) определяли при варьировании скорости скольжения 0,1- 0,5 м/с при температуре 20 °C. Среднюю величину коэффициента трения за цикл испытаний рассчитывали по следующей формуле:

$$\bar{f} = \frac{2\overline{M}}{D\overline{F}},\tag{1}$$

где \overline{M} — среднее за время цикла значение крутящего момента, фиксируемое реометром, $H\cdot M$; D=0.026 — диаметр расположения образцов на роторе, м; \overline{F} — среднее за время цикла вертикальное усилие на роторе, H.

Для вычисления линейной интенсивности износа (мм/мм) за цикл испытаний использовали следующую формулу:

$$I = \frac{\Delta \overline{h}}{S} = \frac{4\Delta V_{\Sigma}}{3\pi d^2} \frac{60}{\pi D \overline{n} t_{\Pi}} = 0.078 \frac{\Delta m_{\Sigma}}{\rho \overline{n} t_{\Pi}},$$
(2)

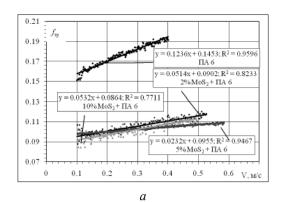
где $\Delta \overline{h}$ — среднее за время цикла снижение высоты трех образцов, мм; S — путь трения, мм; ΔV_{Σ} — суммарное за время цикла снижение объема трех образцов, мм³; Δm_{Σ} — суммарное за время цикла снижение массы трех образцов, г; ρ — плотность образца, г/мм³; t_{η} — длительность цикла испытания, c; d = 2 — диаметр образца, мм; \overline{n} — средняя за время цикла частота вращения ротора, мин¹.

Средняя величина контактного давления за цикл испытаний равна:

$$\overline{p} = \frac{4\overline{F}}{3\pi d^2}.$$
(3)

Результаты и обсуждение. Результаты триботехнических испытаний композиций с различной концентрацией дисульфида молибдена при отсутствии (*a*) и наличии (*б*) смазки при температуре 20 °C в диапазоне скорости скольжения 0.1-0.5 м/с и контактном давлении 0.1 МПа представили на *рисунке* 2.

Из результатов испытаний следует, что ввод дисульфида молибдена в ПА-6 обеспечивает существенное снижение коэффициента трения в сравнении с немодифицированным полимером. Причем концентрация наполнителя на данный показатель существенно не влияет. Результаты исследования износостойкости полимерных композиций применительно к условиям работы уплотнительного кольца направляющей штока силового гидроцилиндра $C100/40 \times 200-344$ (работа без смазки): скорость скольжения – 0,25 м/с, контактное давление – 2,5 МПа, температура – 50 °С (*табл.*).



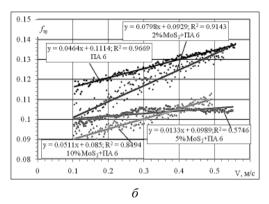


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения полиамидных композитов с различной концентрации дисульфида молибдена при температуре 20 °C: а – при отсутствии; б – при наличии смазки

Таблица Значения износа и коэффициента трения полиамидных композиций, модифицированных MoS2 в условиях сухого трения

Состав, %	I мм/мм	$f_{\scriptscriptstyle \mathrm{Tp}}$
ПА-6	1,88·10-7	0,134
2% MoS ₂ +98% ПА-6	5,22·10 ⁻⁸	0,125
5% MoS ₂ +95% ПА-6	5,53·10 ⁻⁸	0,127
10% MoS ₂ +90% ПА-6	5,76·10 ⁻⁸	0,130

Из *таблицы* следует, что введение дисульфида молибдена способствует снижению коэффициента трения и увеличению износостойкости композита. Однако при достижении концентрации модификатора 10% наблюдается некоторое ухудшение указанных параметров.

Выводы. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что введение дисульфида молибдена в полиамид 6 значительно повышает износостойкость композита за счет снижения его коэффициента трения [11-15]. С учетом ранее проведенных исследований физико-механических свойств данных композитов рекомендуется концентрация в них дисульфида молибдена в диапазоне 2-5%. Полученные полимерные композиции могут успешно применяться для изготовления деталей трибосопряжений как новых, так и отримонтированных машин.

Библиографический список

- 1. Леонов Д.В. Комплексная оценка свойств полиамида 6, модифицированного промышленными марками окисленного графита // Пластические массы. 2017. N5- 6. C. 38-40.
 - 2. Карсакова Е.В. Свойства и области применения полиамидов различных типов

- // Успехи в химии и химической технологии. 2008. Т. 22. N5. C.10-13.
- 3. Kuzmin A.M. Influence of injection rate on mechanical properties of the molding composition based on polyamide 6 and carbon nanotubes. Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. 195-191.
- 4. Vodyakov V.N. New polyamide composites for friction power cylinders of agricultural machinery. Key Engineering Materials. 2019. Vol. 816. 157-161.
- 5. Hongqi Wan. Influence of polyfluo-wax on the friction and wear behavior of polyimide/epoxy resin-molybdenum disulfide bonded solid lubricant coating. Tribology Transactions. 2016. Vol. 59. 889-895.
- 6. Vaschishina A. Analysis of antifriction additives to lubricants materials. Trans & Motauto world. 2021. Is. 1. 32-33.
- 7. Zhiying R. Tribological properties of molybdenum disulfide and helical carbon nanotube modified epoxy resin. 2019. Materials. Vol. 12. 1-14.
- 8. Радайкина Е.А. Новая полимерная композиция для восстановления трибосопряжений машин // Технический сервис машин. 2022. Т. 148. N3. С. 101-105.
- 9. Vodjakov V.N. New polyamide composites for friction power cylinders of agricultural machinery // Key Engineering Materials. 2019. Vol. 816. 157-161.
- 10. Радайкина Е.А. Исследование трибологических характеристик полиамида 6, модифицированного тонкодисперсным порошком шунгита // Техника и оборудование для села. 2017. Т. 146. N12. С. 36-40.
- 11. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов селскохозяйственных машин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. N2. С. 80-81.
- 12. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Ахмедова Т.С., Воробьев Д.А. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственных машин путем нанесения твердосплавных толстослойных покрытий с использованием плазменной наплавки // Металлург. 2017. Т. 60. N11-12. С. 1290-1294.
- 13. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А. и др. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N1. С. 27-31.
- 14. Dorokhov A., Kataev Yu., Sviridov A. Assessment of chemical resistance of polyurethane compounds used in the manufacture of diaphragm diaphragm piston pumps. Physical Journal: Conference series. Divnomorskoe. 2021. 042026.
- 15. Дорохов А.С., Свиридов А.С., Гончарова Ю.А., Алехина Р.А. Оценка химической стойкости полиуретановых компаундов, применяемых при изготовлении диафрагм мембранно-поршневых насосов // Техника и оборудование для села. 2021. N8(290). С. 41-44.

References

- 1. Leonov D.V. Kompleksnaya otsenka svoystv poliamida 6, modifitsirovannogo promyshlennymi markami okislennogo grafita [Comprehensive assessment of the properties of polyamide 6 modified by industrial grades of oxidized graphite]. Plasticheskiye massy. 2017. N5-6. 38-40 (In Russian).
- 2. Karsakova E.V. Svoystva i oblasti primeneniya poliamidov razlichnykh tipov [Properties and applications of polyamides of various types]. Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. 2008. Vol. 22. N5. 10-13 (In Russian).
- 3. Kuzmin A.M. Influence of injection rate on mechanical properties of the molding composition based on polyamide 6 and carbon nanotubes. Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. 195-191.
- 4. Vodyakov V.N. New polyamide composites for friction power cylinders of agricultural machinery. Key Engineering Materials. 2019. Vol. 816. 157-161.

- 5. Hongqi Wan. Influence of polyfluo-wax on the friction and wear behavior of polyimide/epoxy resin-molybdenum disulfide bonded solid lubricant coating. Tribology Transactions. 2016. Vol. 59. 889-895.
- 6. Vaschishina A. Analysis of antifriction additives to lubricants materials. Trans & Motauto world. 2021. Is. 1. 32-33.
- 7. Zhiying R. Tribological properties of molybdenum disulfide and helical carbon nanotube modified epoxy resin. 2019. Materials. Vol. 12. 1-14.
- 8. Radaykina E.A. Novaya polimernaya kompozitsiya dlya vosstanovleniya tribosopryazheniy mashin [A new polymer composition for the restoration of tribocouplings of machines]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 148. N3. 101-105 (In Russian).
- 9. Vodjakov V.N. New polyamide composites for friction power cylinders of agricultural machinery. Key Engineering Materials. 2019. Vol. 816. 157-161.
- 10. Radaykina E.A. Issledovaniye tribologicheskikh kharakteristik poliamida 6, modifitsirovannogo tonkodispersnym poroshkom shchngita [Investigation of tribological characteristics of polyamide 6 modified with fine shungite powder]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2017. Vol. 146. N12. 36-40 (In Russian).
- 11. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovanie bimetallicheskikh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov selskokhozyaystvennykh mashin [The use of bimetallic steels to increase the resource of working bodies of agricultural machines]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 2013. N2. 80-81 (In Russian).
- 12. 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 (In Russian).
- 13. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Mironov D.A., et al. 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).
- 14. Dorokhov A., Kataev Yu., Sviridov A. Assessment of chemical resistance of polyurethane compounds used in the manufacture of diaphragm diaphragm piston pumps Physical Journal: Conference series. Divnomorskoe. 2021. 042026.
- 15. Dorokhov A.S., Sviridov A.S., Goncharova Yu.A., Alekhina R.A. Otsenka khimicheskoy stoykosti poliuretanovykh kompaundov, primenyaemykh pri izgotovlenii diafragm membranno-porshnevykh nasosov [Evaluation of chemical resistance of polyurethane compounds used in the manufacture of diaphragm piston pumps]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021. N8(290). 41-44 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Pадайкина E.A.- подготовка текста, анализ данных; Kотин A.B.- научное руководство, анализ, корректировка текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Radaykina E.A. – writing the manuscript, data analysis; Kotin A.V. – scientific guidance, analysis, editing of the manuscript. All the authors have read and approved the final manuscript.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛЕГИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ЭИЛ СТАЛИ 35 РЕНИЕМ

Валерий Игоревич Иванов , кандидат технических наук; ²Павел Сергеевич Гордиенко, доктор технических наук, профессор; ³Леонид Алексеевич Коневцов, кандидат технических наук, e-mail: konevts@narod.ru; ²Евгений Савельевич Панин, кандидат химических наук; ⁴Александр Александрович Карабцов, кандидат геолого-минералогических наук ¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация ²Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Российская Федерация ³Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российская Федерация ⁴Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, Российская Федерация

Реферат. Показали результаты исследования влияния состава и структуры легированного слоя на поверхность стали 35 при электроискровом легировании с использованием анодного материала из рения. (Цель исследования) Исследовать влияние режимов электроискрового легирования стали 35 рением, на состав и структуру легированного слоя. (Материалы и методы). Применили в качестве материала анода рений Re (99,99 процентов), катода – сталь 35. Использовали оборудование: БИГ-1, Элитрон-22-АМ с блоком АГ-2, установку «ИМЭИЛ»; СЭМ EVO-50 XVP «C.ZEISS», дифрактометр RigakuMiniFlex-II (Japan), Си-Ка излучение, базу данных ICDD; весы ВЛО-200, ВЛР-220; микротвердомер ПМТ-3М. Очищали образцы в ультразвуковой ванне. (Результаты и обсуждение) Исследовали состав, структуру легируемого слоя. Изменение элементного содержания легируемого слоя по глубине показало высокое содержание Re вблизи наружной поверхности легируемого слоя и на глубине до 10-15 микрометров, которое быстро уменьшалось с увеличением глубины до 27-30 микрометров в противофазе к Fe. Определили, что образование полученных фаз в микрованне расплава сопровождалось при электромассопереносе высокими температурами. (Выводы) Показали результаты исследования влияния режимов электроискрового легирования стали 35 рением на фазовый состав, эффективность. Предложили энергетический показатель, дали его оценку в сравнении с другими. Представляет интерес продолжение исследования электроискрового легирования рением, уточнение режимов, повышающих эффективность.

Ключевые слова: легированный слой, электроискровое легирование, анодный материал, рений, сталь, импульсы, твердость, износостойкость.

Для цитирования: Иванов В.И., Гордиенко П.С., Коневцов Л.А., Панин Е.С., Карабцов А.А. Исследование формирования легированного поверхностного слоя при ЭИЛ стали 35 рением. Ч. 2. // Технический сервис машин. 2022. Т. 61. N1(150). С. 110-121. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-110-121. VXMXRW.

BUILDING OF ALLOYED SURFACE LAYER DURING ELECTRIC SPARK TREATMENT OF STEEL 35 BY THE RHENIUM

¹Valeriy I. Ivanov, Ph.D.(Eng.);

²Pavel S. Gordienko, Dr.Sc.(Eng.), professor;

³Leonid A. Konevtsov, Ph.D.(Eng.);

²Evgeniy S. Panin, Ph.D.(Chem.);

⁴Aleksandr A. Karabtsov, Ph.D.(Geol.)

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

²Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,

Vladivostok, Russian Federation

³Khabarovsk Federal Research Center Institute of Materials Science of Far Eastern

Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

⁴Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch

of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The results of the study of the effect of the composition and structure of the alloyed layer on the surface of steel 35 during electric spark alloying using rhenium anode material were shown. (Research purpose) The research purpose is investigating the effect of the electric spark alloying of steel with rhenium on the composition and structure of the alloyed layer. (Materials and methods). Rhenium Re (99.99 percent) was used as the anode material, steel 35 was used as the cathode. As equipment – BIG-1, Elitron-22-AM with AG-2 unit, IMEIL installation; SEM EVO-50 XVP "S.ZEISS", RigakuMiniFlex-II diffractometer (Japan), Cu-Ka radiation, ICDD database; VLO-200, VLR-220 scales; PMT-3M microhardometer. The samples were cleaned in an ultrasonic bath. (Results and discussion) The composition and structure of the alloyed layer were investigated. The change in the elemental content of the alloyed layer in depth showed a high Re content near the outer surface of the alloyed layer and at a depth of up to 10-15 micrometers, which rapidly decreased with an increase in depth to 27-30 micrometers in the opposite phase to Fe. It was determined that the formation of the obtained phases in the melt microvanna was accompanied by high temperatures during electric mass transfer. (Conclusions) The results of the study of the effect of the modes of electric spark alloying of 35 rhenium steel on the phase composition and efficiency were shown. They proposed an energy indicator, gave its assessment in comparison with others. It is of interest to continue the study of electrospray doping with rhenium, to clarify the modes that increase efficiency.

Keywords: alloyed layer, electric spark alloying, anode material, rhenium, steel, pulses, hardness, wear resistance.

For citation: Ivanov V.I., Gordiyenko P.S., Konevtsov L.A., Panin E.S., Karabtsov A.A. Issledovaniye formirovaniya legirovannogo poverkhnostnogo sloya pri EIL stali 35 reniyem [Building of alloyed surface layer during electric spark treatment of steel 35 by the rhenium]. Ch. 2. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 60. N4(149). 110-121 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-110-121. VXMXRW.

Введение. Существует множество физико-химических методов повышения качества исполнительных поверхностей (ИП), изменения их морфологии, элементного и фазового состава с целью достижения заданных функциональных свойств ИП изделий из выбранного материала. Метод электроискрового легирования (ЭИЛ) обеспечивает выполнение повышенных требований к ИП во многих случаях машиностроительного производства. Академик Б.Р. Лазаренко в 1943 г. в СССР изобрел и запатентовал ме-

тод ЭИЛ токопроводящих металлических поверхностей. Применение этого метода дало возможность материаловедам разработать новые технологии создания защитных легируемых слоев (ЛС) поверхностей изделий из токопроводящих материалов с заданными функциональными свойствами. Материаловедом Б.А. Ляшенко метод ЭИЛ отнесен к современным наукоемким технологиям [1].

Большой вклад в развитие физико-технологических и материаловедческих основ метода ЭИЛ, в исследовании функциональных и физико-химических свойств получаемых ЛС на поверхностях изделий внес коллектив исследователей научной школы А.Д. Верхотурова [4-8].

В качестве анодных материалов с целью повышения свойств ЛС, в том числе при ЭИЛ, широко используются тугоплавкие металлы и сплавы. В последнее время представляет интерес использование новых нетрадиционных и редко используемых анодные материалов, например Re [9, 10].

Рений используют при легировании сплавов для повышения износо-, жаро-, коррозионностойкости. Жаростойкие сплавы с содержанием рения более 10% в никеле используются для изготовления ответственных узлов лопаток турбин [12-17].

Сплавы с Re применяются для изготовления камер сгорания, ответственных деталей турбин, сопел реактивных двигателей, термопар W-Re в измерительной технике, выдерживающих нагрев до 2200 °C.

Цель исследования — исследовать влияние режимов электроискрового легирования стали 35 рением на состав и структуру легированного слоя.

Материалы и методы. В качестве анодного материала при ЭИЛ использовали рений *Re* 99,99%. Анализ физико-химических и теплофизических свойств сплавов с легирующим *Re* показал, что целесообразно получить экспериментальные данные по его влиянию на свойства ЛС ИП сталей при ЭИЛ в качестве анодного материала. В качестве материала катода при ЭИЛ использовали образцы из стали 35, широко применяемой в машиностроении, станкостроении и других отраслях для изготовления осей, валов, коленчатых валов, цилиндров, шатунов, тяг, ободов, траверс, дисков и т.д., к ИП которых предъявляются повышенные требования твердости, износостойкости, стабильности свойств в коррозионноактивных средах [18-20].

Для исследования топологии, элементного состава поверхностного ЛС и его среза по глубине использовали сканирующий электронный микроскоп EVO-50 XVP C.ZEISS, оборудованный комплексом INCA ENERGY 350. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре RigakuMiniFlex II. Применяли Cu- K_a излучение, генерируемое при 30 кВ и 15 мА, с использованием монохроматора на дифрагированном пучке и непрерывной скорости сканирования 2 град/мин. Расшифровку рентгенограмм проводили с помощью программного обеспечения, поставляемого с прибором *PDXL*, и базы данных ICDD. Обработку образцов стали 35 выполняли на электроискровом комплексе БИГ-1, состоящем из модернизированной установки Элитрон 22 AM с высокочастотным блоком AГ-2 с частотами f = 20, 80, 100, 160, 200, $400,800,1600\Gamma$ ц; энергией в импульсе E=0,11;0,32;1,8 Дж и рабочим током I_{uun} = 120, 200 A, а также на экспериментальной установке «ИМЭИЛ» Хабаровского института материаловедения ДВО РАН. При обработке с энергией $E = 1.8 \, \text{Дж}$ образцы охлаждали вентилятором. При определении параметров массопереноса использовали аналитические весы ВЛО-200, ВЛР-220 (0,0001 г). Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Нешлифованные и неполированные образцы предварительно очищали в ультразвуковой ванне, заполненной спиртовым раствором.

Результаты и обсуждение. Привели примеры общего вида поверхности и среза по глубине ЛС после ЭИЛ (*puc. 1*). Изображения получили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ).

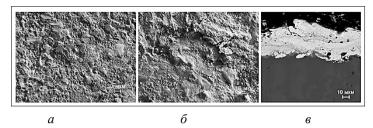


Рис. 1. Общий вид поверхности после ЭИЛ рением стали 35 с режимами: a-E=0,32 Дж; $I_{\rm lumn}=120$ A; $t_{\rm lumn}=150$ мкс; $f_{\rm lumn}=80$ Γ ц; $\delta-E=0,11$ Дж, $I_{\rm p.lumn}=120$ A; $t_{\rm lumn}/c=50$ мкс; $f_{\rm lumn}=1600$ Γ ц; $\epsilon-$ микроструктура участка среза ЛС при E=0,11 Дж, $I_{\rm p.lumn}=120$ A; $t_{\rm lumn}/c=50$ мкс; $f_{\rm lumn}=1600$ Γ ц

Изменение элементного содержания ЛС по глубине определяли по малым площадям забора проб СЭМ в различных точках поверхности среза, например, для образца с режимами: E = 0.11 Дж, $I_{umn} = 120$ А; $t_{umn} = 50$ мкс; $f_{umn} = 1600$ Гц в точках 1-10 ($puc.\ 2,\ a$).

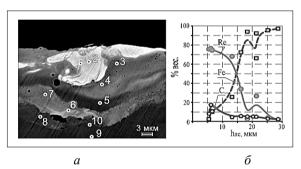


Рис. 2. Участок среза ЛС по глубине 30 мкм от наружной поверхности с точками забора проб 1-10 (a); NURBS-кривые изменения вес.% Re, Fe, C по глубине ЛС (б)

Полученные значения величин, *NURBS*-кривые изменения вес.% *Re*, *Fe*, С по глубине до 30 мкм от наружной поверхности ЛС показывают высокое содержание Re вблизи наружной поверхности ЛС и на глубине до 10-15 мкм, которое быстро уменьшается с увеличением глубины до 27-30 мкм (рис. 2, δ). При этом содержание Fe на этой глубине наоборот возрастает в заметной противофазе к Re. В ЛС вблизи к наружной поверхности на глубине до 5 мкм содержание кислорода достигает до вес. % 15-18 с быстрым уменьшением при увеличении глубины ЛС до 15-27 мкм. Полученные рентгеновские фазы и элементный состав (СЭМ) исследованных образцов стали 35 после ЭИЛ *Re* представили в *таблице 1*. При внешнем осмотре образца 1 после ЭИЛ при E = 0.11 Дж (с фазовым составом ReO_3 ; Re; Fe; C), поверхность отличалась серебристым цветом, гладкая, на отдельных участках видны цвета побежалости. У образцов 2 (ReO_3 ; Re; Fe; C) и 3 (ReO_3 ; Re; Fe; C) поверхность серая, видны мелкие капли, бугры, такая же поверхность наблюдалась при E = 0.32 Дж у образцов 4 (ReO_3 ; Re; Fe; C), 5 (Re_3O_{10} ; ReO_2 ; Re; Fe_3C ; Fe; C), 6 (Re_3O_{10} ; ReO_2 ; Re; Fe; C) — серого цвета с мелкими каплями, буграми, после остывания видна пленка с цветами побежалости. При E = 1,8 Дж у образца 7 (Fe_3C ; Re; Fe; C) поверхность темная с участками коричневого цвета с плоскими большими каплями; у образца 8 (ReO_3 ; Fe_3C ; Re; Fe; C) капли округлые, поверхность серо-желтоватая; у образца 9 (Re_3O_{10} ; ReO_2 ; ReO_3 ; Fe_3C ; Re; Fe; C) наблюдали редкие крупные капли, поверхность темная со светловатыми участками. Образование полученных фаз в микрованне расплава в процессе электромассопереноса сопровождалось высокими температурами, так как температура плавления у Fe_2O_3 , Fe_3C составляет $t_{nn}=1565$ и $1250\,^{\circ}$ С, а возможные при этом химические реакции образования оксидов $Re: 4Re + 7O_2 = 2ReO_7$; $Re_2O_7 + CO = 2ReO_3 + CO_2$; $Re_2O_7 + 3Re \rightarrow 7ReO_2$ протекают при t = 500-650- $1077\,^{\circ}$ С.

Таблица 1 Рентгенофазовый анализ ЛС образиов 1-9

Образцы, №	Фазы	<i>Re</i> (%вес)	<i>Fe</i> (%вес)	С (%вес)	О (%вес)
1	ReO_3	8-91	1-63	2-19	3-23
2	ReO_3	13-88	2-30	10-56	4-30
3	ReO_3	10-91	3-67	4-7	2-18
4	ReO_3	26-76	7-58	14-21	3-22
5	Re_3O_{10} ; ReO_2 ; Fe_3C	до 96	1-76	4-6	до 20
6	Re_3O_{10} ; ReO_2	44-88	4-35	3-8	2-19
7	Fe ₃ C	до 39	25-58	3-8	6-23
8	ReO ₃ ; Fe ₃ C	до 74	54-62	3-10	3-26
9	ReO_3 ; Re_3O_{10} ; ReO_2 ; Fe_3C	до 78	87	4-8	11-17

Из данных исследования СЭМ и РФА следует, что оксиды рения обнаружены только на поверхности покрытий, тогда как в ЛС стали 35 оксиды рения не обнаружены (табл. 1, рис. 3). Возможно наличие других фаз, не связанных с рением, например, связанных с железом, но для таких утверждений требуются дополнительные исследования режимов и условий формирования покрытий из рения на стали 35. Большое содержание углерода в образцах, вероятно, связано с технологией получения покрытий.

Пример рентгенограммы образца 1 после ЭИЛ при E = 0,11 Дж с фазовым составом ЛС: ReO_3 ; Re (вес.% 8-91%); Fe (вес.% 1-63%); C (вес.% 2-19%).

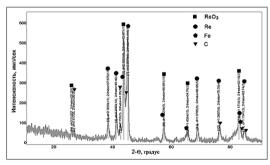


Рис. 3. Рентгенограмма образца 1, режимы ЭИЛ: E=0.11 Дж, $I_{\rm umn}=120$ A; $t_{\rm umn}=50$ мкс; $f_{\rm umn}=1600$ Гц

При ЭИЛ стали 35 с использованием режимов, указанных на *рисунке 3*, в составе ЛС обнаружены ReO_3 ; Re; Fe и углерод.

Эффективность при ЭИЛ стали 35 рением. При формировании ЛС важной составляющей оценки служит эффективность ЭИЛ $\gamma_{s\phi\phi}$, которая зависит от материала анода и подложки, связана с различным характером их разрушения под действием импульсных термомеханических нагрузок, времени ЭИЛ t_{sun} , средним коэффициентом электромассопереноса $K_{n.cp.}$, полученными свойствами материала ЛС $\gamma_{cs.ЛC}$, в том числе с его глубиной $h_{cp.nc}$ и други-

ми неучтенными показателями [4].

Эффективность формирования ЛС $\gamma_{\phi,c,\tau}$ можно оценить как отношение произведения величин суммарного привеса $\Sigma\Delta_a$, 10^{-3} ·г и коэффициента массопереноса $K_{n\,cp}$ ко времени ЭИЛ t_{2un} , сек [18]:

$$\gamma_{do.c.n} = \Sigma \Delta_a \Sigma K_n cp/t_{aun}, 10^{-3} \cdot \Gamma/\text{ce}\kappa;$$

где:
$$\Sigma_{\kappa n, cp} = \Sigma \Delta_{\kappa, cp} / \Sigma \Delta_{a, cp}$$
;

$$\gamma_{\theta\phi\phi} = \gamma_{c_{\theta.nc}} \cdot \gamma_{\phi.nc} = \gamma_{c_{\theta.nc}} \cdot \Sigma \Delta_{\kappa} \cdot K_{n.cp.} / t_{\theta un};$$

где: $\gamma_{cs.nc} = \gamma_{Ucp} / \gamma_{Unc}$ — отношение свойств (износостойкости, жаростойкости, глубины h_{nc} ЛС, твердости, и т. д.) исходного материала подложки и ЛС.

По данному показателю наибольшая эффективность $\gamma_{\phi.c.}$: 70,8 и 21,8 г/сек· 10^{-3} получена для образцов 3 и 6 при режимах, соответственно, при E=0,11; 0,32 Дж и $f_{u.m.}$ =1600; 800 Гц (maбл. 2). А меньшая -0,9 и 4,8 г/сек· 10^{-3} – для образцов 1 и 4 при E=0,11; 0,32 Дж и $f_{u.m.}$ = 160; 80 Гц. С учетом показателя $\gamma_{\phi.c.}$ получен следующий ряд понижающейся эффективности при испытаниях образцов, ряд 1^* : 3 (70,8) \rightarrow 6 (21,8) \rightarrow 7 (16,8) \rightarrow 9 (16,6) \rightarrow 2 (15,9) \rightarrow 5 (13,6) \rightarrow 8 (7,3) \rightarrow 4 (4,8) \rightarrow 1 (0,9).

По показателю глубины h_{nc} , мкм ряд понижающейся эффективности для исследуемых образцов, ряд 2^* : 6 (74) \rightarrow 2 (72) \rightarrow 3 (58) \rightarrow 9 (38) \rightarrow 7 (20) \rightarrow 8 (20) \rightarrow 5 (18) \rightarrow 4 (10) \rightarrow 1 (5) не совпадает с рядом показателя эффективности формирования ЛС $Э_{\phi,cn}$. Что приводит к необходимости привлечения для сравнения других показателей эффективности.

Таблица 2 Показатели кинетики и эффективности формирования ЛС при ЭИЛ образцов 1-9

Образцы, №	Еимп, Дж	$f_{имп.}$, Γ ц	ΣΔ _a , 10 ⁻⁴ Γ	ΣΔ _κ , 10⁻³⋅Γ	K _{n cp}	h _{лс} , мкм	γ _{φ.с.} , 10-3·г/сек
1	0,11	160	23	8,9	14,5	5	0,9
2	0,11	800	112	87,1	27,3	72	15,9
3	0,11	1600	216	221,7	47,9	58	70,8
4	0,32	80	4,1	19,2	37,4	10	4,8
5	0,32	400	322	192,5	10,4	18	13,3
6	0,32	800	111	181,7	18,0	74	21,8
7	1,8	20	6	40,6	62,2	20	16,8
8	1,8	100	205	87,9	12,4	20	7,3
9	1,8	200	184	141,6	17,5	38	16,6

Для оценки эффективности процесса ЭИЛ при сравнении полученных данных по изменению привеса катодов, кроме энергии разряда в импульсе E_{ump} , Дж, частоты следования разрядных импульсов f_{unn} , Γ ц, времени обработки $t_{3ид}$, сек, необходимо учесть суммарную энергию, подводимую на электроды: $E_{\Sigma} = E_{unn} f_{unn} t_{3un}$, Дж. Например, при обработке образцов импульсами с энергией E = 0,11 Дж, максимальный привес катода $\Sigma \Delta_{\kappa}$ за время 2,5 мин составляет 221,7 г·10-3 (образец 3) при частоте подачи рабочих импульсов 1600 Гц, а при f_{umn} = 160 Гц привес катода в 24 раза меньше и составляет 8,9 г·10⁻³ (образец 1). Следовательно, нужно учитывать, что при частоте 1600 Гц в систему анод-катод подается энергия 26400 Дж, а при более низкой 160 Гц – на порядок меньше, 2640 Дж. При этом на единицу энергии, переданной в систему анод-катод при f_{um} =1600 Гц, эффективность привеса катода \Im_{κ} = $\Sigma \Delta_{\kappa}$ / E_{Σ} составляет 8,4 г· 10^{-3} /Дж, а при частоте 160 Гц составляет 3,37 г· 10^{-3} /Дж. То есть с учетом показателя энергетической эффективности формирования ЛС ЭИЛ с частотой 1600 Γ ц предпочтительнее 8,4·10-3/3,37·10⁻³, выше в 2,5 раза. Из полученных данных следует, что энергетическая эффективность

формирования ЛС по данному показателю Эк наиболее высокая для образцов 5 и 3 при энергии в импульсе соответственно $E_{umn}=0.32$ Дж и $f_{umn}=400$ Гц; $E_{umn}=0.11$ Дж и $f_{umn}=1600$ Гц (maбл. 3). С учетом затраченной энергии получен следующий ряд показателя \mathcal{G}_{κ} понижающейся эффективности при испытаниях образцов, ряд 3^* : 5 (10,0) \rightarrow 3 (8,4) \rightarrow 7 (7,5) \rightarrow 2 (6,6) \rightarrow 4 (5,0) \rightarrow 6 (4,7) \rightarrow 1 (3,4) \rightarrow 8 (3,3) \rightarrow 9 (2,6), который отличается от рядов эффективности $\gamma_{\phi,c.n.}$ и $h_{\pi c}$. Следует также учесть, что эффективность процесса ЭИЛ определяется долей материала анода, перенесенного на катод с учетом энергетических затрат. В связи с чем предлагаем ввести параметр энергетической эффективности равный отношению: $K_{99}=\mathcal{G}_{\kappa}/\mathcal{G}_{a}$.

В этом случае за время ЭИЛ t = 2,5 мин при технологическом токе I = 120 А и длительности разрядных импульсов t_{umn} = 50 мкс с энергией в импульсе 0,11; 0,32 и 1,8 Дж для образцов 5, 6, 9 с максимальными частотами следования импульсов соответственно 1600; 800 и 200 Гц получены более высокие значения эрозии анода $\Sigma\Delta_a$, 10^{-4} -г: 216,4, 111,3, 184,2 при воздействии наибольшей суммарной энергии, подводимой на электроды E_{Σ} , 10^{-2} -Дж соответственно 26400, 38400, 54000. Эффективность массопереноса материала анода Re на катод для этих образцов составила соответственно \Im_{κ} 8,4; 4,73; 2,62 г· 10^{-2} /Дж. Тогда как с использованием параметра энергетической эффективности $K_{29} = \Im_{\kappa}/\Im_a$ получаем для этих образцов значения соответственно 1,0; 1,6; 0,8. Taблица 3

Энергетическая характеристика процесса ЭИЛ

Энергетическая характеристика процесса ЭИЛ								
Образцы, №	$E_{\scriptscriptstyle \Sigma}$, 10 ⁻² :Дж	Эа, г∙10-2/Дж	Э _к , г·10-²/Дж	K,,				
1	2640	8,56	3,37	0,39				
2	13200	8,50	6,60	0,78				
3	26400	8,20	8,40	1,0				
4	3840	1,06	5,00	4,7				
5	19200	16,77	10,03	0,6				
6	38400	2,90	4,73	1,6				
7	5400	1,12	7,52	6,7				
8	27000	7,58	3,26	0,43				
9	54000	3,41	2,62	0,77				

При ЭИЛ с учетом параметра энергетической эффективности K_{23} получен следующий ряд понижающейся эффективности для исследуемых образцов, ряд 4^* : 7 (6,7) \rightarrow 4 (4,7) \rightarrow 6 (1,6) \rightarrow 3 (1,0) \rightarrow 2 (0,78) \rightarrow 9 (0,77) \rightarrow 5 (0,6) \rightarrow 8 (0,43) \rightarrow 1 (0,39). Можно заметить тенденцию снижения эффективности ЭИЛ по параметру K_{23} и величины энергии разрядного импульса в зависимости от роста частоты следования f_{umn} рабочих импульсов технологического тока. Сравнивая линии тренда полученных параметров эффективности в зависимости от роста частоты импульсов следования технологического тока f_{umn} , получаем следующие уравнения экспоненциальных линий тренда (puc. 4):

- показателя формирования ЛС: $\gamma_{\phi,nc} = 113,3e^{0.135f}(K_I = 2\cdot10^2);$
- энергии разрядного импульса: $E_{umn} = 1612e^{-28f}$;
- эффективности привеса катода: $9_{\kappa} = 603,3^{\text{e}0,051f}(K_2 = 2\cdot10^2);$
- энергетической эффективности ЭИЛ $K_{29} = 3_{\kappa}/3_a = 516,6e^{-0.16f}(K_3 = 1,5\cdot10^2);$
- частоты следования технологического тока: $f_{umn} = 20^{e0,491}$ г

Из рисунка 4 следует, что с увеличением частоты следования импульсов (кривая 5) и снижением энергии разрядного тока (кривая 2) наблюдается тенденция снижения эффективности ЭИЛ по параметру $K_{_{29}}$ (кривая 4), а также роста показателей эффективности формирования ЛС $\gamma_{\phi,c.r.}$ и привеса катода \Im_{κ} .

Для подтверждения и уточнения полученных соотношений показателей эффективности нужны дополнительные исследования с использованием *Re* в качестве анодного материала. Необходимы уточнения закономерностей разрушения (эрозии) анодного материала и определение величин привеса катодного материала и коэффициента электромассопереноса при ЭИЛ *Re* в различных условиях и получения качественных значений величин, определяющих свойства ЛС при различных режимах. Данные исследования целесообразно продолжить.

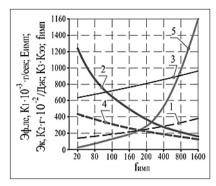


Рис. 4. Экспоненциальные линии тренда зависимостей $1-\gamma_{\phi,c,r}$; $2-E_{umn}$; $3-\Im_{\kappa}$; $4-K_{\mathfrak{I}\mathfrak{I}\mathfrak{I}}$ в сравнении к значениям частоты разрядного тока $5-f_{umn}$ с коэффициентами приведения значений по оси ординат: K_1 = $2\cdot10^2$; K_2 = $2\cdot10^2$; K_3 = $1,5\cdot10^2$

Получены следующие ряды эффективности приоритетных соотношений при ЭИЛ стали 35 рением:

$$\begin{array}{l} \gamma_{\phi,c,a} \colon 3 \ (71) \to 6 \ (21,8) \to 7 \ (7) \to 9 \ (16,6) \to 2 \ (16) \to 5 \ (13,6) \to 8 \ (7) \to 4 \ (4,8) \to 1 \ (1); \\ h_{\pi c} \colon 6 \ (74) \to 2 \ (72) \to 3 \ (58) \to 9 \ (38) \to 7 \ (20) \to 8 \ (20) \to 5 \ (18) \to 4 \ (10) \to 1 \ (5); \\ (2) \\ \mathcal{J}_{\kappa} \colon 5 \ (10) \to 3 \ (8,4) \to 7 \ (7,5) \to 2 \ (6,6) \to 4 \ (5,0) \to 6 \ (4,7) \to 1 \ (3,4) \to 8 \ (3,3) \to 9 \ (2,6); \\ (3) \\ K_{30} \colon 7 \ (6,7) \to 4 \ (4,7) \to 6 \ (1,6) \to 3 \ (1) \to 2 \ (0,8) \to 9 \ (0,77) \to 5 \ (0,6) \to 8 \ (0,43) \to 1 \ (0,4); \\ (4) \\ \Sigma \Delta_{\kappa} \colon 3 \ (222) \to 5 \ (192) \to 6 \ (181) \to 9 \ (142) \to 8 \ (88) \to 2 \ (87) \to 7 \ (41) \to 4 \ (19) \to 1 \ (9); \\ (5) \\ K_{ncp} \colon 7 \ (62) \to 3 \ (48) \to 4 \ (37) \to 2 \ (27) \to 6 \ (18) \to 9 \ (17,5) \to 1 \ (14,5) \to 8 \ (12) \to 5 \ (10,4); \\ (6) \\ \gamma_{3\phi\phi} \colon 3 \ (411) \to 6 \ (161) \to 2 \ (114) \to 9 \ (63) \to 7 \ (34) \to 5 \ (24) \to 8 \ (14,6) \to 4 \ (5) \to 1 \ (0,5); \\ (7) \\ \Sigma \Delta_{\alpha} \colon 4 \ (4,1) \to 7 \ (6) \to 1 \ (23) \to 6 \ (111) \to 2 \ (112) \to 9 \ (184) \to 8 \ (205) \to 3 \ (216) \to 5 \ (322) \ (8) \end{array}$$

Данные сравнения численных значений рядов требуют уточнения и дополнительных исследований, связанных с изменением режимов обработки для разных условий получения свойств ЛС. Пользуясь полученными рядами приоритетных соотношений показателей понижающей эффективности при ЭИЛ Re, можно прогнозировать достижения тех или иных параметров ЛС, давать ориентировочные рекомендации. Например, для достижения наибольших значений глубины ЛС h_{nc} следует использовать режимы ЭИЛ образцов 6 и 2, соответственно E = 0.32 и 0,11 Дж; $f_{umn} = 800$ Гц. Для достижения наибольшей суммарной величины привеса ЛС $\Sigma \Delta_{\kappa}$, а также показателя формирования ЛС $\gamma_{\phi,nc}$ и показателя эффективности ЭИЛ $\gamma_{\phi,\phi}$ следует использовать режимы образца 3: E = 0,11 Дж; $f_{umn} = 1600$ Гц. При задаче экономии дорогостоящего анодного материала Re следует воспользоваться режимами обработки образца 1: E = 0,11 Дж; $f_{umn} = 160$ Гц, дающими величину эрозии на порядки меньшую в сравнении с использованием режимов образцов 3, 5, 8 соответственно $E = 0,11; 0,32; 1,8 \ Дж и <math>f_{umn} = 1600; 400; 100 \ \Gamma$ ц. Если же сравнивать режимы по энергетической эффективности привеса катода \mathcal{G}_{κ} , то на первом месте следует использовать режимы образцов 5 и 3 с энергией в импульсе соответственно E = 0.32; 0.11 Дж и частотой следования $f_{unn} = 400$;

 $1600~\Gamma$ ц, а на последнем — образцов 8 и 9 с наибольшей энергией в импульсе 1,8 Дж и частотой следования соответственно f_{umn} = 200; $100~\Gamma$ ц. С использованием же параметра энергетической эффективности Кээ наибольший эффект наблюдался при ЭИЛ с режимами образцов 7 и 4 соответственно E = 1,8; 0,32 Дж и наименьшей частотой следования f_{umn} = 20; $1600~\Gamma$ ц.

Выводы. Увеличение энергии в разрядном импульсе влияет на увеличение образующихся фаз с Re и Fe в ЛС: при энергии 0,11 Дж образуется фаза ReO_3 ; при 0,32 Дж — фазы ReO_2 , Re_3O_{10} , Fe_3C ; при 1,8 Дж — ReO_2 , ReO_3 ; Re_3O_{10} , Fe_3C . Для оценки эффективности используемой энергии при ЭИЛ предложен критерий энергетической эффективности K_{39} . С увеличением частоты следования импульсов и снижением энергии разрядного тока наблюдали тенденцию роста показателей эффективности формирования ЛС, энергетической эффективности привеса катода и снижения критерия эффективности K_{39} .

Представляет интерес дальнейшие исследования процесса ЭИЛ рением в качестве анодного материала по уточнению режимов, повышающих суммарный привес катода, коэффициент электромассопереноса, показатели эффективности.

Библиографический список

- 1. Ляшенко Б.А., Подчерняева И.А., Коневцов Л.А., Козырь А.В., Коваленко С.В., Каминский А.В. Материалогия покрытий титановых сплавов методами физико-химии и электроискрового легирования: в 2 ч. Ч. 1: Покрытия методами физикохимии. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 2019. 413 с.
- 2. Николенко С.В., Коневцов Л.А., Жаркова Ю.С., Бричка Е.И., Иванченко А.В., Жилин В.И., Хабибулина Л.Ф., Божкова Г.Н., Шабалина Н.Н., Гемранова А.Д., Яковлева Е.В., Камнева Н.А., Камнева И.А., Познякова Е.Ю, Кулакова А.С, Холодович О.В, Свистунов С.В, Шиповская А.А., Храмцова Ф.И. Синтез науки и образования в решении глобальных проблем современности / под ред. А.А. Сукиасян. Уфа: Аэтерна. 2022. 194 с.
- 3. Швец Н.Л., Капустина Г.Г., Леоненко Н.А. Образование фрактальных структур на поверхности минералов при лазерном облучении // Физика: фундаментальные и прикладные исследования, физическое образование: материалы IX Региональной научной конференции. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 2010. С. 117-120.
- 4. Ляшенко Б.А., Подчерняева И.А., Коневцов Л.А., Козырь А.В., Коваленко С.В., Каминский А.В. Материалогия покрытий титановых сплавов методами физико-химии и электроискрового легирования: в 2 ч. Ч. 2: ЭИЛ-покрытия. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 2020. 347 с.
 - 5. Верхотуров А.Д., Гордиенко П.С., Достовалов В.А., Коневцов Л.А.,
- Панин Е.С. Высокоэнергетическое локальное воздействие на вольфрамсодержащие материалы и металлы. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет. 2012. 472 с.
- 6. Профессор А.Д. Верхотуров. Избранные труды и воспоминания: в 3 т. Т. 3. Материалогия. Воспоминания о пути становления науки о материалах в условиях Дальнего Востока / под ред. А.И. Евстигнеева, Б.Я. Мокрицкого, В.А. Кима. Комсомольский-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет. 2016. 313 с.
- 7. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Прядко Л.Ф., Коневцов Л.А. Электродные материалы при ЭИЛ: влияние на эрозию и свойства легированного слоя и критерии оценки эффективности // Технический сервис машин. 2018. Т. 131. С. 209-222.
- 8. 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.
 - 9. Ivanov V.I., Konevtsov L.A., Aulov V.F. Rhenium as a perspective anodic material in materialogy

- of surface at electric spark of alloying. Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. 615-620.
- 10. Рузиев У.Н., Эрназаров У.Р., Гуро В.П. Легирование твердых сплавов ванадием и рением для повышения износостойкости // Инновационные материалы и технологии, 2021: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. Минск: БГТУ. 2021. С. 64-67.
- 11. Щур Д.В., Помыткин А.П., Загинайченко С.Ю. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева применительно к задачам материаловедения. Киев: типография КПИ. 2015. 16 с.
- 12. Маркарян С.Е., Овсепян Г.С., Симонян А.Р. Повышение долговечности сенокосилок методом обработки рением // Вестник Курганской ГСХА. N3. 2019. С. 65-67.
- 13. Рузиев У.Н., Гуро В.П., Сафаров Ё.Т., Расулова С.Н. Сравнительные испытания изделий из твердого сплава ВК-6, легированного ванадием и рением // Химия и биология: электронный научный журнал. 2019. N8(62).
- 14. Паршутин В.В., Герасимов М.В., Богдашкина Н.Л. Коррозионное поведение сплавов никель—рений в концентрированных кислотах // Поверхность, рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. N9. C. 86-91.
- 15. Санин В.В., Агеев М.И., Капланский Ю.Ю., Петржик М.И. Влияние легирующих добавок молибдена и рения на структуру и свойства литого сплава NiAl-Cr-Co // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2021. Т. 15. N3. С. 43-61.
- 16. Куликова Е.С., Чернышова О.В., Носикова Л.А., Светогоров Р.Д., Дробот Д.В., Михеев И.А. // Алкоксотехнология получения жаропрочных материалов на основе рения и рутения // Тонкие химические технологии. 2020. Т. 15. N6. С. 67-76.
- 17. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Василенок Л.Б. Рений в никелевых сплавах для лопаток газовых турбин // Материаловедение. 2000. N2. C. 23-29; N3. C. 38-43.
- 18. Иванов В.И., Верхотуров А.Д., Коневцов Л.А. Разработка критериев оценки эффективности формирования поверхностного слоя и его свойств при электро-искровом легировании. Ч. 1. Состояние вопроса. Кинетический и функциональный критерии эффективности формирования легированного слоя // Электронная обработка материалов. 2016. Т. 52. N6. С. 1-6.
- 19. 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 Machinery Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. N3. 214-223.
- 20. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Павлов В.А. Технологические особенности восстановления валов плазменной наплавкой // Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т. 16. N12. С. 566-569.

References

- 1. Lyashenko B.A., Podchernyayeva I.A., Konevtsov L.A., Kozyr' A.V., Kovalenko S.V., Kaminskiy A.V. Materialogiya pokrytiy titanovykh splavov metodami fizikokhimii i elektroiskrovogo legirovaniya: v 2 ch. Ch. 1: Pokrytiya metodami fizikokhimii [Materialology of coatings of titanium alloys by physico-chemistry and electrospray alloying: in 2 Ch. Ch. 1: Coatings by methods of physicochemistry]. Khabarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet. 2019. 413 (In Russian).
- 2. Nikolenko S.V., Konevtsov L.A., Zharkova Yu.S., Brichka E.I., Ivanchenko A.V., Zhilin V.I., Khabibulina L.F., Bozhkova G.N., Shabalina N.N., Gemranova A.D., Yakovleva E.V., Kamneva N.A., Kamneva I.A., Poznyakova E.Yu, Kulakova A.S, Kholodovich O.V, Svistunov S.V, Shipovskaya A.A., Khramtsova F.I. Sintez nauki i obrazovaniya v reshenii global nykh problem sovremennosti [Synthesis of science and education in solving global problems of our time] / Ed. by A.A. Sukiasyan. Ufa: Aeterna. 2022. 194 (In Russian).
- 3. Shvets N.L., Kapustina G.G., Leonenko N.A. Obrazovaniye fraktal'nykh struktur na poverkhnosti mineralov pri lazernom obluchenii [Formation of fractal structures

- on the mineral surface under laser irradiation]. Fizika: fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya, fizicheskoye obrazovaniye: materialy IX Regional'noy nauchnoy konferentsii. Khabarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet. 2010. 117-120 (In Russian).
- 4. Lyashenko B.A., Podchernyayeva I.A., Konevtsov L.A., Kozyr' A.V., Kovalenko S.V., Kaminskiy A.V. Materialogiya pokrytiy titanovykh splavov metodami fizikokhimii i elektroiskrovogo legirovaniya: v 2 ch. Ch. 2: EIL-pokrytiya [Materialology of coatings of titanium alloys by physico-chemistry and electrospray alloying: in 2 Ch. Ch. 2: ESL coatings]. Khabarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet. 2020. 347 (In Russian).
- 5. Verkhoturov A.D., Gordiyenko P.S., Dostovalov V.A., Konevtsov L.A., Panin E.S. Vysokoenergeticheskoye lokal'noye vozdeystviye na vol'framsoderzhashchiye materialy i metally [High-energy local impact on tungsten-containing materials and metals]. Vladivostok: Dal'nevostochnyy federal'nyy universitet. 2012. 472 (In Russian).
- 6. Professor A.D. Verkhoturov. Izbrannyye trudy i vospominaniya: v3 t.T.3. Materialogiya. Vospominaniya o puti stanovleniya nauki o materialakh v usloviyakh Dal'nego Vostoka [Selected works and memoirs: in 3 vols. Vol. 3. Materialology. Memories of the path of the formation of materials science in the conditions of the Far East] / Ed. by A.I. Evstigneyev, B.Ya. Mokritskiy, V.A. Kim. Komsomol'sk-na-Amure: Komsomol'skiy-na-Amure gosudarstvennyy universitet. 2016. 313 (In Russian).
- 7. Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Pryadko L.F., Konevtsov L.A. Elektrodnyye materialy pri EIL: vliyaniye na eroziyu i svoystva legirovannogo sloya i kriterii otsenki effektivnosti [Electrode materials in ESL: effect on erosion and properties of the alloyed layer and criteria for evaluating the effectiveness]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2018. Vol. 131. 209-222 (In Russian).
- 8. 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).
- 9. Ivanov V.I., Konevtsov L.A., Aulov V.F. Rhenium as a perspective anodic material in materialogy of surface at electric spark of alloying. Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. 615-620.
- 10. Ruziyev U.N., Ernazarov U.R., Guro V.P. Legirovaniye tverdykh splavov vanadiyem i reniyem dlya povysheniya iznosostoykosti [Alloying of hard alloys with vanadium and rhenium to increase wear resistance]. Innovatsionnyye materialy i tekhnologii, 2021: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Minsk: BGTU. 2021. 64-67 (In Russian).
- 11. Shchur D.V., Pomytkin A.P., Zaginaychenko S.Yu. Periodicheskaya sistema elementov D.I. Mendeleyeva primenitel'no k zadacham materialovedeniya [Periodic system of elements by D.I. Mendeleev in relation to the problems of materials science]. Kiyev: tipografiya KPI. 2015. 16 (In Russian).
- 12. Markaryan C.E., Ovsepyan G.S., Simonyan A.P. Povysheniye dolgovechnosti senokosilok metodom obrabotki reniyem [Improving the durability of mowers by rhenium treatment]. Vestnik Kurganskoy GSKhA. N3. 2019. 65-67 (In Russian).
- 13. Ruziyev U.N., Guro V.P., Safarov E.T., Rasulova S.N. Sravnitel'nyye ispytaniya izdeliy iz tverdogo splava VK-6, legirovannogo vanadiyem i reniyem [Comparative tests of VK-6 hard alloy products doped with vanadium and rhenium]. Khimiya i biologiya: elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2019. N8(62) (In Russian).
- 14. Parshchutin V.V., Gerasimov M.V., Bogdashkina N.L. Korrozionnoye povedeniye splavov nikel'—reniy v kontsentrirovannykh kislotakh [Corrosion behavior of nickel—rhenium alloys in concentrated acids]. Poverkhnost', rentgenovskiye, sinkhrotronnyye i neytronnyye issledovaniya. 2021. N9. 86-91 (In Russian).
 - 15. Sanin V.V., Ageyev M.I., Kaplanskiy Yu.Yu., Petrzhik M.I. Vliyaniye legiruyushchikh

dobavok molibdena i reniya na strukturu i svoystva litogo splava NiAl-Cr-Co [Influence of alloying additives of molybdenum and rhenium on the structure and properties of cast alloy NiAl-Cr-Co]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nyye pokrytiya. 2021. Vol. 15. N3. 43-61 (In Russian).

- 16. Kulikova E.S., Chernyshova O.V., Nosikova L.A., Svetogorov R.D., Drobot D.V., Mikheev I.A. Alkoksotehnologiya polucheniya zharoprochnyh materialov na osnove reniya i ruteniya [Alkoxotechnology for the production of heat-resistant materials based on rhenium and ruthenium]. Tonkie himicheskie tehnologii. 2020. Vol. 15. No. 67-76 (In Russian).
- 17. Kablov E.N., Petrushin N.V., Vasilenok L.B. Renij v nikelevyh splavah dlya lopatok gazovyh turbin [Rhenium in nickel alloys for gas turbine blades]. Materialovedenie. 2000. N2. 23-29; N3. 38-43 (In Russian).
- 18. Ivanov V.I., Verhoturov A.D., Konevcov L.A. Razrabotka kriteriev ocenki effektivnosti formirovaniya poverhnostnogo sloya i ego svojstv pri elektroiskrovom legirovanii. Ch. 1. Sostoyanie voprosa. Kineticheskij i funkcionalnyj kriterii effektivnosti formirovaniya legirovannogo sloya [Development of criteria for evaluating the effectiveness of the formation of the surface layer and its properties during electric spark alloying. Part 1. State of the question. Kinetic and functional criteria for the effectiveness of doped layer formation]. Elektronnaya obrabotka materialov. 2016. Vol. 52. No. 1-6 (In Russian).
- 19. 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 Machinery Manufacture and Reliability. 2020. Vol. 49. N3. 214-223.
- 20. Slinko D.B., Dorokhov A.S., Denisov V.A., Pavlov V.A. Tekhnologicheskie osobennosti vosstanovleniya valov plazmennoy naplavkoy [Technological features of shaft restoration by plasma surfacing]. Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2018. Vol. 16. N12. 566-569 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Иванов В.И. – участие в экспериментальных исследованиях;

Гордиенко П.С. – научное редактирование, написание, обсуждения;

Коневцов $\Pi.A. - оформление, написание, участие в исследованиях, обсуждении;$

Панин Е.С. – участие в экспериментальных исследованиях, обсуждении; Карабцов А.А. – участие в экспериментальных исследованиях, обсуждении. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Ivanov V.I. – participation in experimental studies;

Gordienko P.S. – scientific editing, writing, discussion;

Konevtsov L.A. – design, writing, participation in research, discussion;

Panin E.S. – participation in experimental research, discussion;

Karabtsov A.A. – participation in experimental research, discussion.

All the authors have read and approved the final manuscript.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГЕРОЛЛЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОТОРА OMR 100

Иван Сергеевич Кузнецов, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Ivan-654@yandex.ru; Николай Владимирович Титов, кандидат технических наук, доцент; Владимир Николаевич Логачев, кандидат технических наук, доцент; Николай Сергеевич Чернышов, кандидат технических наук, доцент; Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация

Реферат. Компания Sauer Danfoss выпускает большую номенклатуру гидравлического оборудования, которое устанавливается на тракторы, сельскохозяйственную, строительную технику российских и зарубежных производителей. Гидромотор представляет собой один из самых часто встречаемых узлов гидросистем машин. (Цель исследования) Оценить техническое состояние изношенных роликов, корпуса, вала, звездочки и обоймы героллерного гидравлического мотора Danfoss OMR 100; провести микрометражные исследования деталей. (Материалы и методы) Проводили измерения с помощью гладких цифровых микрометров марки SHAN с ценой деления один микрометр, индикатора часового типа ИЧ, электронного нутромера рычажного типа НИРЦ фирмы QLR с ценой деления один микрометр. Обезжиривали перед измерением все детали. Изучали рабочую поверхность роликов и звездочки с помощью лупы ЛИ-3 10х ГОСТ 25706-83. Измерения выполняли в двух перпендикулярных направлениях и в нескольких сечениях. (Результаты и обсуждение) Установили, что средний износ на сторону составляет: роли- $\kappa a - 6$ микрометров; посадочного места под ролик - 2; износ отверстия под вал в корпусе -2,5; износ шеек вала -1,5; торцевых поверхностей звездочки и роликов – 5,5 микрометров. (Выводы) Наибольший износ имеют рабочие поверхности роликов и звездочки. Значения среднего износа данных деталей позволяют предположить, что для восстановления изношенных поверхностей будет иелесообразен способ электроискровой обработки. Указанный способ гарантирует получение покрытия небольшой толщины с хорошими триботехническими свойствами в условиях гидроабразивного изнашивания.

Ключевые слова: корпус, вал, звездочка, ролики, обойма, гидромотор, изнашивание, измерение, средний износ, электроискровая обработка.

Для цитирования: Кузнецов И.С., Титов Н.В., Логачев В.Н., Чернышов Н.С. Исследование износного состояния деталей героллерного гидравлического мотора OMR 100// Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 122-129. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-122-129. WBVDYC.

THE WEAR OF THE OMR 100 GEROLLER HYDRAULIC MOTOR PARTS

Ivan S. Kuznetsov, Ph.D.(Ped.), associate professor; Nikolay V. Titov, Ph.D.(Ped.), associate professor; Vladimir N. Logachev, Ph.D.(Ped.), associate professor; Nikolay S. Chernyshov, Ph.D.(Ped.), associate professor; Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhina, Orel, Russian Federation

Abstract. Sauer Danfoss produces a large range of hydraulic equipment, which is installed on tractors, agricultural and construction equipment of Russian and foreign manufacturers. The hydraulic motor is one of the most frequently encountered components of hydraulic systems of machines. (Research purpose) The research purpose is assessing the technical condition of worn rollers, housing, shaft, sprocket and holder of the Danfoss OMR 100 roller hydraulic motor; to conduct micrometer studies of parts. (Materials and methods) Measurements were carried out using smooth digital micrometers of the SHAN brand with a division price of one micrometer, an ICH-type clock indicator, an electronic lever-type nutrometer of the OLR Research Center with a division price of one micrometer. All parts were degreased before measurement. The working surface of the rollers and sprockets was studied using a magnifier LI-3 10x GOST 25706-83. Measurements were carried out in two perpendicular directions and in several sections. (Results and discussion) It was found that the average wear on the side is: roller - 6 micrometers; seat under the roller -2; the wear of the shaft hole in the housing is 2.5; the wear of the shaft necks is 1.5; the end surfaces of the sprocket and rollers are 5.5 micrometers. (Conclusions) The working surfaces of the rollers and sprockets have the greatest wear. The values of the average wear of these parts suggest that the method of electric spark treatment will be appropriate to restore worn surfaces. This method guarantees the production of a coating of small thickness with good tribotechnical properties under conditions of waterjet wear.

Keywords: housing, shaft, sprocket, rollers, cage, hydraulic motor, wear, measurement, average wear, electrospark machining.

For citation: Kuznetsov I.S., Titov N.V., Logachev V.N., Chernyshov N.S. Issledovaniye iznosnogo sostoyaniya detaley gerollernogo gidravlicheskogo motora OMR 100 [The wear of the OMR 100 geroller hydraulic motor parts]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 122-129 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-122-129. WBVDYC.

Введение. Гидравлические машины Sauer Danfoss активно используются в разных отраслях народного хозяйства. Компания Sauer Danfoss заслуженно занимает лидирующие позиции на мировом рынке гидравлического оборудования. Благодаря высокой надежности, производительности и доступной цене гидравлические машины данной компании пользуются большим спросом. Они устанавливаются на тракторы, сельскохозяйственную, строительную технику российских и зарубежных производителей [1-6].

Компания Sauer Danfoss выпускает большую номенклатуру гидравлических машин, таких как моторы, насосы, распределители, клапаны и многое другое. Одним из самых часто встречаемых и ответственных узлов служит героллерный гидромотор. По своему устройству героллерный гидравлический мотор представляет собой сложный многокомпонентный узел [4-6].

Причинами ускоренного изнашивания героллерных гидромоторов чаще всего служат низкое качество рабочей жидкости и наличие в ней частиц абразива. При изнашивании деталей гидромотора происходит снижение рабочего давления и, как следствие, производительности.

В связи с этим считаем, что исследование особенностей изнашивания деталей героллерных гидромоторов *Danfoss* становится актуальной научной и производственной проблемой.

Цель исследования — оценить техническое состояние изношенных роликов, корпуса, вала, звездочки и обоймы героллерного гидравлического мотора *Danfoss OMR* 100; провести микрометражные исследования деталей.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования выбраны детали гидромотора *Danfoss OMR* 100 (*puc. I*).



Рис. 1. Исследуемые детали героллерного гидромотора Danfoss OMR 100: a – корпус; δ – обойма; δ – ролики; ϵ – звездочка; δ – вал

Измерение проводили с помощью гладких цифровых микрометров марки SHAN с ценой деления 1 мкм, индикатора часового типа ИЧ той же торговой марки, электронного нутромера рычажного типа НИРЦ фирмы QLR с ценой деления 1 мкм. Примеры измерений представлены на $pucynke\ 2$.

Перед измерением все детали обезжиривали. Рабочую поверхность роликов и звезды изучали с помощью лупы ЛИ-3 10х ГОСТ 25706-83.

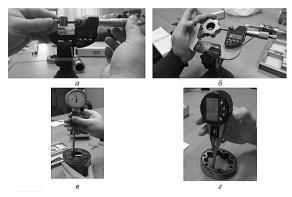


Рис. 2. Измерение изношенных деталей героллерного гидромотора Danfoss OMR 100: a- ролик; 6- звезда; 8- корпус; 2- обойма

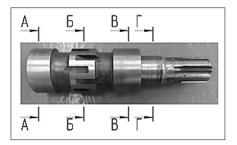


Рис. 3. Эскиз замеров вала

Измерения проводили в двух перпендикулярных направлениях и в нескольких сечениях. Эскиз вала гидромотора с указанием сечений измерений (вал измеряли в четырех сечениях под разными углами) показали на рисунке 3.

Результаты и обсуждение. Визуальный осмотр рабочей поверхности звездочки показал, что она имеет следы изнашивания (puc. 4). Впадины и вершины имеют поперечные риски, что позволяет сделать вывод о наличии следов гидроабразивного изнашивания. Результаты измерений роликов и их посадочных мест приведены в maблицаx 1, 2.

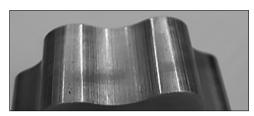


Рис. 4. Следы изнашивания на рабочей поверхности звездочки

Таблица 1 Диаметры изношенных роликов

Номер измерения	Диаметр роликов, мм				
	верхняя часть	средняя часть	нижняя часть		
1	15,978	15,972	15,970		
2	15,977	15,975	15,972		
3	15,969	15,975	15,969		
4	15,970	15,970	15,969		
5	15,974	15,975	15,969		
6	15,971	15,974	15,971		
7	15,970	15,974	15,972		
8	15,972	15,972	15,971		
9	15,976	15,974	15,972		
10	15,974	15,971	15,969		
11	15,972	15,974	15,968		
12	15,972	15,968	15,967		
13	15,970	15,973	15,975		
14	15,971	15,972	15,970		

Таблица 2 Диаметр изношенных посадочных мест роликов

Номер измерения	Диаметр посадочных мест роликов, мм							
номер посадочного места	1	2	3	4	5	6	7	
1	16,010	16,015	16,020	16,015	16,010	16,010	16,015	
2	16,015	16,020	16,015	16,015	16,020	16,020	16,020	
3	16,020	16,005	16,015	16,010	16,005	16,015	16,015	

Проанализировав экспериментальную выборку измеренных значений, можно сделать вывод, что средний диаметр роликов составляет 15,9719 мм. При этом средний измеренный диаметр посадочных мест роликов в обойме составляет 16,015 мм. В связи с тем, что сложно найти номинальные разме-

ры исследуемых деталей и их рабочие чертежи, воспользовались данными поставщиков запасных частей. Приняли номинальным размером соединения «обойма-ролик» 16 мм, а посадку — близкую к H6/g6, тогда нижнее отклонение ролика составит — 0,017 мм, а верхнее отклонение его посадочного места +0,011 мм. Пользуясь этими данными, вычислили средние значения износа ролика и его посадочного места. Средний износ ролика на сторону составляет 6 мкм, а средний износ посадочного места под ролик — 2 мкм на сторону. Звездочка гидромотора изнашивается в целом равномерно. В связи с этим было принято решение провести измерения высоты зубьев звездочки. Полученные в результате проведенных замеров данные представили в *таблице 3*. Обработав экспериментальные данные, сделали вывод о том, что среднее значение диаметра вершин звездочки составляет 53,607 мм.

Таблица 3 Внешний диаметр изношенной звездочки

Номер измерения	Внешний диаметр звездочки, мм					
1	53,605	53,607	53,606			
2	53,610	53,603	53,609			
3	53,607	53,609	53,607			

Существенное влияние на производительность и срок службы героллерного гидромотора оказывают износы торцевых поверхностей роликов и звездочки. В процессе изнашивания торцевых поверхностей увеличиваются зазоры и утечки, что влияет на снижение производительности гидромотора. В связи с этим были проведены замеры толщины роликов и звездочки, результаты которых представлены в $maблицаx\ 4$, 5. Средняя толщина звездочки и роликов составляет 17,371 мм. Допустив, что номинальный размер толщины звездочки и роликов 17,4 мм, а их поле допуска h7, можем говорить, что их средний износ на сторону составляет 5,5 мкм при нижнем отклонении -0.018 мм.

Таблица 4 Толщина изношенной звездочки

Номер измерения	Толщина звездочки, мм						
1	17,372	17,374	17,357	17,375	17,376	17,375	
2	17,373	17,375	17,356	17,375	17,374	17,375	

Таблица 5 Толщина изношенных роликов

Номер измерения	Толщина роликов, мм						
1	17,365	17,379	17,366	17,371	17,374	17,370	17,373
2	17,367	17,378	17,367	17,372	17,373	17,369	17,372

Соединение «корпус—вал» также, как и описанные выше соединения, оказывает существенное влияние на производительность насоса. Например, изнашивание центральной шейки вала (*puc. 3*, сечение Б-Б) приводит к утечкам рабочей жидкости и переливу ее из одной масляной магистрали в другую.

Данные измерений вала и отверстия под вал в корпусе представлены в maблицаx 6, 7. Проведенными измерениями установили, что средний диаметр отверстия под вал в корпусе составляет 42,021 мм. Средний диаметр вала в сечениях A-A, Б-Б, В-В – 41,986 мм. Для данного соединения приняли посадку H6/h5. При этой посадке нижнее отклонение вала -0,011 мм, а верхнее отклонения отверстия +0,016 мм. Исходя из этого, износ отверстия

под вал в корпусе составляет 2,5 мкм на сторону, а износ шеек вала -1,5 мкм на сторону.

Таблица 6 Лиаметр отверстия под вал в корпусе

диаметр отверетия поо вая в корпусс							
Помор изморония	Диаметр отверстия под вал в корпусе, мм						
Номер измерения	сечение А-А	сечение Б-Б	сечение В-В				
1	42,023	42,022	42,023				
2	42,019	42,021	42,020				
3	42,019	42,02	42,020				
Δ	42 021	42 021	42 021				

Таблица 7

Диаметры шеек вала

Иомор изморония	Диаметр вала, мм						
Номер измерения	сечение А-А	сечение Б-Б	сечение В-В	сечение Г-Г			
1	41,993	41,987	41,985	28,556			
2	41,995	41,975	41,983	28,565			
3	41,994	41,984	41,974	28,559			
4	41,993	41,974	41,972	28,565			

Выводы. В ходе проведенных исследований установили, что средний износ на сторону ролика гидромотора составляет 6 мкм; посадочного места под ролик -2 мкм; износ отверстия под вал в корпусе -2.5 мкм; износ шеек вала -1.5 мкм; торцевых поверхностей звездочки и роликов -5.5 мкм. Проанализировав износы исследуемых деталей, можно сделать вывод, что наибольшему износу подвержены рабочие поверхности роликов и звездочки. Значения среднего износа изношенных поверхностей исследуемых деталей позволяют рекомендовать для их восстановления способ электроискровой обработки [7-14].

Ученые ВИМа и МГУ имени Н.П. Огарева считают данный способ наиболее рациональным для восстановления подобных деталей машин, он показал максимальную экономическую эффективность в условиях мелкосерийного ремонта гидромоторов, гидронасосов и гидрораспределителей.

Библиографический список

- 1. Величко С.А., Бурумкулов Ф.Х., Мартынов А.В. Исследование влияния кинематических параметров системы на формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления деталей гидроагрегатов // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. N2. С. 101-108.
- 2. Величко С.А., Мартынов А.В. Точечная оценка параметров распределения доремонтного ресурса импортных гидрораспределителей сельхозтехники // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N3. C. 47-49.
- 3. Ионов П.А., Земсков А.М., Столяров А.В., Тимохин С.В. Исследование влияния давления в системе управления на работоспособность и долговечность объемного гидропривода Sauer Danfoss серии 90 // Технический сервис машин. 2020. Т. 58. N4(141). С. 54-63.
- 4. Velichko S.A., Senin P.V., Ivanov V.I., Martynov A.V., Chumakov P.V. Formation of thick layer electro-spark coatings for restoring worn-out parts of power hydraulic cylinders. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N2. 116-123.
- 5. Ионов П.А., Сенин П.В., Столяров А.В. Технология ремонта аксиально-поршневых гидромашин. Саранск: Рузаевский печатник. 2019. 184 с.

- 6. Кузнецов И.С., Прокошина Т.С. Анализ состояния изношенных пальцев жаток современных зерноуборочных комбайнов // Агротехника и энергообеспечение. 2017. N1-2(14). C. 5-11.
- 7. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Yu., Solovyev R.Yu., Sharifullin S.N. Investigations of nanocrystalline alloy electrospark coating made of nanocrystalline alloy based on 5CP ferrum. IOP conference series: materials science and engineering. Kazan: Institute of Physics Publishing. 2017. Art. N 012047.
- 8. Velichko S.A., Sharifullin S.N., Kuznetsov I.S. Kolomeichenko A.V., Solovyev R.Y., Kravchenko I.N., Adigamov N.R. Evaluation of the wear resistance and resource hardened by electrospark machining of the cutting surfaces of the fingers of the headers of combine harvesters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kazan. 2020. Art. N 012045.
- 9. Kuznetsov I.S., Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z. Process of mass transfer of amorphous alloys under low-voltage electric spark treatment. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N4. 333-338.
- 10. Величко С.А., Мартынов А.В., Кузнецов И.С., Хасан И.Х. Математическая модель прогноза эрозионной стойкости анода при электроискровой наплавке // СТИН. 2020. N7. С. 15-18.
- 11. 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. Coatings. 2022. Vol. 12. N3. Art. N 12030312.
- 12. Денисов В.А. Восстановление базовых деталей дизельных двигателей с аварийными дефектами покрытиями на основе композиционных материалов: автореф. диссертации на соиск. ученой степ. д-ра техн. наук: 05.20.03 технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. М. 2015. 22 с.
- 13. Иванов В.И., Денисов В.А. Развитие электроискровых технологий и оборудования для АПК // Технический сервис машин. 2019. Т. 57. N4(137). С. 195-204.
- 14. Кузнецов И.С. Электроискровая обработка электродами из аморфных и нанокристаллических сплавов режущих деталей // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 108. С. 230-233.

References

- 1. Velichko S.A., Burumkulov F.Kh., Martynov A.V. Issledovaniye vliyaniya kinematicheskikh parametrov sistemy na formirovaniye tolstosloynykh elektroiskrovykh pokrytiy dlya vosstanovleniya detaley gidroagregatov [Investigation of the influence of kinematic parameters of the system on the formation of thick-layer electric spark coatings for the restoration of parts of hydraulic units]. Trudy GOSNITI. 2013. Vol. 111. N2. 101-108 (In Russian).
- 2. Velichko S.A., Martynov A.V. Tochechnaya otsenka parametrov raspredeleniya doremontnogo resursa importnykh gidroraspredeliteley sel'khoztekhniki [Point estimation of the parameters of the distribution of the pre-repair resource of imported hydraulic distributors of agricultural machinery]. Traktory i sel'khozmashiny. 2015. N3. 47-49 (In Russian).
- 3. Ionov P.A., Zemskov A.M., Stolyarov A.V., Timokhin S.V. Issledovaniye vliyaniya davleniya v sisteme upravleniya na rabotosposobnost' i dolgovechnost' ob"yemnogo gidroprivoda Sauer Danfoss serii 90 [Investigation of the influence of pressure in the control system on the performance and durability of the Sauer Danfoss Series 90 volumetric hydraulic drive]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2020. Vol. 58. N4(141). 54-63 (In Russian).
- 4. Velichko S.A., Senin P.V., Ivanov V.I., Martynov A.V., Chumakov P.V. Formation of thick layer electro-spark coatings for restoring worn-out parts of power hydraulic cylinders. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N2. 116-123.
- 5. Ionov P.A., Senin P.V., Stolyarov A.V. Tekhnologiya remonta aksial'no-porshnevykh gidromashin [Repair technology of axial piston hydraulic machines]. Saransk: Ruzayevskiy pechatnik. 2019. 184 (In Russian).
 - 6. Kuznetsov I.S., Prokoshina T.S. Analiz sostoyaniya iznoshennykh pal'tsev zhatok

sovremennykh zernouborochnykh kombaynov [Analysis of the condition of worn fingers of the harvesters of modern combine harvesters]. Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2017. N1-2(14). 5-11 (In Russian).

- 7. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Izmaylov A.Yu., Solovyev R.Yu., Sharifullin S.N. Investigations of nanocrystalline alloy electrospark coating made of nanocrystalline alloy based on 5CP ferrum. IOP conference series: materials science and engineering. Kazan: Institute of Physics Publishing. 2017. Art. N 012047.
- 8. Velichko S.A., Sharifullin S.N., Kuznetsov I.S. Kolomeichenko A.V., Solovyev R.Y., Kravchenko I.N., Adigamov N.R. Evaluation of the wear resistance and resource hardened by electrospark machining of the cutting surfaces of the fingers of the headers of combine harvesters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kazan. 2020. Art. N 012045.
- 9. Kuznetsov I.S., Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z. Process of mass transfer of amorphous alloys under low-voltage electric spark treatment. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2017. Vol. 53. N4. 333-338.
- 10. Velichko S.A., Martynov A.V., Kuznetsov I.S., Khasan I.Kh. Matematicheskaya model' prognoza erozionnoy stoykosti anoda pri elektroiskrovoy naplavke [Mathematical model of the forecast of the erosion resistance of the anode during electric spark surfacing]. STIN. 2020. N7. 15-18 (In Russian).
- 11. 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. Coatings. 2022. Vol. 12. N3. Art. N 12030312.
- 12. Denisov V.A. Vosstanovleniye bazovykh detaley dizel'nykh dvigateley s avariynymi defektami pokrytiyami na osnove kompozitsionnykh materialov: avtoref. dissertatsii na soisk. uchenoy step. d-ra tekhn. nauk: 05.20.03 tekhnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v sel'skom khozyaystve [Restoration of basic parts of diesel engines with emergency defects by coatings based on composite materials: Dr.Sc.(Eng.) thesis: 05.20.03 technologies and maintenance in agriculture]. Moscow. 2015. 22 (In Russian).
- 13. Ivanov V.I., Denisov V.A. Razvitiye elektroiskrovykh tekhnologiy i oborudovaniya dlya APK [Development of electric spark technologies and equipment for agriculture]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. Vol. 57. N4(137). 195-204 (In Russian).
- 14. Kuznetsov I.S. Elektroiskrovaya obrabotka elektrodami iz amorfnykh i nanokristallicheskikh splavov rezhushchikh detaley [Electric spark treatment of cutting parts with electrodes made of amorphous and nanocrystalline alloys]. Trudy GOSNITI. 2011. Vol. 108. 230-233 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Кузнецов И.С. – научное руководство, анализ и доработка текста;

Титов Н.В. – подготовка текста, анализ данных, редактирование текста;

Логачев В.Н. – подготовка и анализ литературных данных;

Чернышов Н.С. – подготовка текста, анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Kuznetsov I.S. – scientific guidance, analysis and revision of the manuscript;

Titov N.V. – text preparation, data analysis, editing the manuscript;

Logachev V.N. – preparation and analysis of literary data;

Chernyshov N.S. – preparation of the manuscript, data analysis.

All the authors have read and approved the final manuscript.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

Никита Александрович Попов, инженер; Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: info@firma-tom.ru Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Срок службы гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания после ремонта, вызванного износом внутренней рабочей поверхности, имеет меньший ресурс, чем новая. Данным обстоятельством обусловлена необходимость поиска метода нанесения более износостойкого покрытия. Исследовали возможность применения комбинированного покрытия для восстановления изношенных гильз цилиндров нанесением слоя алюминиевого сплава холодным газодинамическим напылением с последующим микродуговым оксидированием рабочей поверхности. (Цель исследования) Повысить ресурс гильз цилиндров нанесением комбинированного покрытия с использованием холодного газодинамического напыления и микродугового оксидирования внутренней рабочей поверхности цилиндров. (Материалы и методы) Провели исследования на адгезионную и когезионную прочность покрытия и сравнительные трибологические испытания с целью определения пригодности исследуемого покрытия для ремонта гильз цилиндров. Выполнили исследования по стандартам ОСТ 90148-74 и ГОСТ 23.224-86. (Результаты и обсуждение) Определили значения адгезионной и когезионной прочности для различных режимов нанесения покрытия холодным газодинамическим напылением на чугунную основу. Выявили оптимальные показатели нагружения для проведения ускоренных испытаний на износостойкость и вычислили показатель прирабатываемости, фактор и интенсивность изнашивания для исследуемого и эталонного покрытий. Установили, что адгезионная и когезионная прочность достаточны для применения данного метода на практике, износостойкость образца с покрытием превышает износостойкость эталонного образца. (Выводы) Комбинированное покрытие обладает хорошими показателями прочности и высокими по сравнению с эталоном показателями износостойкости, что делает их применение в гильзах цилиндров возможным и целесообразным, однако необходимо дальнейшее исследование свойств покрытия.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, микродуговое оксидирование, гильзы цилиндров, повышение износостойкости, восстановление.

Для цитирования: Попов Н.А., Чавдаров А.В. Исследование свойств комбинированного покрытия для восстановления изношенных гильз цилиндров // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 130-139. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-130-139. CNHSDW.

PROPERTIES OF THE COMBINED COATING FOR THE RESTORATION OF WORN CYLINDER LINERS

Nikita A. Popov, engineer; Anatoliy V. Chavdarov, Ph.D.(Eng), leading researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The service life of the cylinder liner of an internal combustion engine after repair caused by wear of the internal working surface has a shorter service life than a new one. This circumstance necessitates the search for a method of applying a more wear-resistant coating. The possibility of using a combined coating to restore worn cylinder liners by applying a layer of aluminum alloy by cold gas-dynamic spraying followed by micro-arc oxidation of the working surface was investigated. (Research purpose) The research purpose is increasing the life of cylinder liners by applying a combined coating using cold gas-dynamic spraying and micro-arc oxidation of the inner working surface of the cylinders. (Materials and methods) Conducted studies on the adhesive and cohesive strength of the coating and comparative tribological tests to determine the suitability of the coating under study for the repair of cylinder liners. We performed studies according to the standards of OST 90148-74 and GOST 23.224-86, respectively. (Results and discussion) The values of adhesive and cohesive strength were determined for various modes of coating with cold gas-dynamic spraying on a cast-iron base. The optimal loading parameters for accelerated wear resistance tests were identified and the run-in rate, the factor and the wear intensity for the studied and reference coatings were calculated. It was established that the adhesive and cohesive strength is sufficient for the application of this method in practice, the wear resistance of the coated sample exceeds the wear resistance of the reference sample. (Conclusions) The combined coating has sufficient strength indicators and high wear resistance indicators compared to the standard, which makes their use in cylinder liners possible and appropriate, however, further investigation of the coating properties is necessary.

Keywords: gas dynamic cold spraying, micro-arc oxidation, cylinder liners, increasing wear resistance, restoration.

For citation: Popov N.A., Chavdarov A.V. Issledovaniye svoystv kombinirovannogo pokrytiya dlya vosstanovleniya iznoshennykh gil'z tsilindrov [Properties of the combined coating for the restoration of worn cylinder liners]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 130-139 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-130-139. CNHSDW.

Введение. Один из важнейших узлов двигателя внутреннего сгорания, определяющих его ресурс в целом, – гильзы цилиндров (ГЦ) [1]. Существует множество технологий восстановления ресурса гильз цилиндров. Среди наиболее распространенных можно выделить расточку под ремонтный размер, установку ремонтных колец, наплавку и напыление износостойких покрытий [2].

Однако износостойкость восстановленной внутренней рабочей поверхности зачастую уступает по износостойкости поверхности новой гильзы, поэтому необходима разработка новых технологий восстановления, не имеющая недостатков существующих технологий [3].

Такой технологией может стать нанесение комбинированного покрытия холодным газодинамическим напылением (ХГДН) с последующим микродуговым оксидированием (МДО). Известны работы, посвященные применению МДО для упрочнения рабочей поверхности цилиндров, изготовленных из алюминиевых сплавов, демонстрирующие возможность эффективного применения данного вида обработки для создания износостойких покрытий рабочей зоны [4-6].

Однако большая часть гильз цилиндров на сегодняшний день изготовлена из чугуна или стали, а не из алюминиевых сплавов, эти материалы не

могут быть обработаны микродуговым оксидированием. Технология ремонта подобных гильз нанесением комбинированного покрытия предает отремонтированной гильзе ресурс не меньше, чем у новой. Стоит заметить, что данный вид покрытий изучен недостаточно, чтобы гарантировать его эффективность при ремонте $\Gamma Ц$. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования его свойств и характеристик.

Цель исследования — повысить ресурс гильз цилиндров нанесением комбинированного покрытия с использованием холодного газодинамического напыления и микродугового оксидирования внутренней рабочей поверхности цилиндров. Задачи работы: исследовать адгезионную и когезионную прочность покрытия, провести сравнительные стендовые испытания.

Материалы и методы. В целях подтверждения технической возможности и целесообразности использования комбинированного покрытия для ремонта ГЦ провели ряд экспериментов. Для напыления во всех экспериментах использовали образцы с подложкой (основой) из серого чугуна, алюминиевый порошок марки А-10-01 и оборудование «Димет-403». Основой для нанесения МДО-покрытия служил напыленный слой алюминиевого порошка. В процессе напыления использовали изогнутое сопло для ХГДН (рис. 1) (Устройство для газодинамического нанесения покрытий на внутренние поверхности цилиндрических деталей: пат. 2714002 Рос. Федерация, C23C24/04, B05B7/14; опубл. 2019.). Поверхность напыления предварительно подвергали пескоструйной обработке.

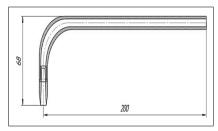


Рис. 1. Эскиз изогнутого сопла для напыления внутренней цилиндрической поверхности

С целью определения оптимального режима напыления (температура нагрева и расход порошка) провели испытания на адгезионную и когезионную прочность. Их выполнили по методике, представленной в ОСТ 90148-74 «Металлы. Методы испытания на срез». На цилиндрические образцы из чугуна, подготовленные механической обработкой, наносили холодным газодинамическим напылением «поясок» алюминиевого порошка. После напыления образцы обрабатывали на токарном станке в соответствии с эскизами образцов для испытаний (рис. 2).

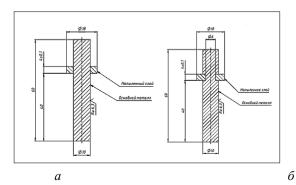


Рис. 2. Образцы для испытаний на: a — адгезионную прочность, b — когезионную прочность

Испытательный стенд для испытаний на адгезию и когезию представили на *рисунке 3*.

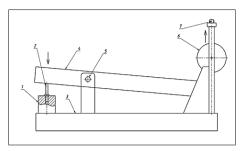


Рис. 3. Схема испытательного стенда

Принцип работы стенда следующий. Образец 2 устанавливают в оправку 1. Оправка закреплена на основании 3. Сверху на образец 2 передает усилие плечо 4, фиксирующееся осью 5. Усилие, приложенное к плечу 4, определяется динамометром часового типа 6 и устанавливается вращением гайки 7. В процессе исследований фиксировали усилие разрушения образца по динамометру часового типа. Исходя из геометрических параметров стенда, высчитывали усилие, приложенное к образцу. Предполагали, что все усилие работает на срез материала образца. Потерями на другие виды взаимодействий пренебрегали в связи с их незначительностью.

С целью повышения точности эксперимента каждое испытание повторяли по 3-4 раза. Точность измерения усилия разрушения составила 1 H. Результаты свели ε *таблицы*. Значение адгезии и когезии покрытия вычисляли по формуле:

$$\alpha = \frac{F}{S}$$

где F – это усилие разрушения образца;

S – площадь пояска.

С целью сравнения трибологических характеристик эталонного покрытия внутренней рабочей поверхности гильз цилиндров с комбинированным покрытием проводили сравнительные стендовые испытания по методике ГОСТ 23.224-86 (ГОСТ 23.224-86. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. М.: Стандартинформ. 2005). В качестве образца с эталонным покрытием выступил диск из серого чугуна, исследуемый образец был получен нанесением на аналогичный диск ХГДН покрытия с последующим микродуговым оксидированием. Для испытаний на образцы из серого чугуна наносили порошок A-10-01, состоящий из смеси технически чистого алюминия (около 85%) и корунда (около 15%) [7,8].

Нанесенный слой толщиной 0,5 мм обрабатывали микродуговым оксидированием в течение 100 мин при плотности тока 20 А/дм². Толщина упрочненного МДО слоя составила от 60 до 100 мкм. Шероховатость рабочей поверхности обоих образцов не превышала Ra 0,32 в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53809-2010.

Результаты и обсуждение. Результаты испытаний на адгезию и когезию привели в *таблицах 1, 2* соответственно. Для удобства восприятия и анализа данных, составили столбчатые диаграммы средних значений адгезии в зависимости от режима напыления (*puc. 4, 5*).

Наиболее оптимальными режимами по адгезии для изогнутого сопла можно считать режимы 4.3 и 4.4.

Таблица 1 Сводная таблица результатов испытаний на адгезионную прочность

		Вид сопла					
Режим		сопло изогнутое					
(температу- ра, подача)	№ обр.	ширина пояска, 1 мм	площадь напы- ленной поверх- ности S, мм ²	усилие разрыва <i>F, H</i>	адгезия α, МПа		
3.3	1	2,55	79,87	941	12		
4.3	1	2,35	73,61	1324	18		
4.3	2	1,84	57,63	1265	22		
	1	2,2	68,91	2687	39		
4.4	2	2,02	63,27	1392,5	22		
	3	1,65	51,68	1414	27		

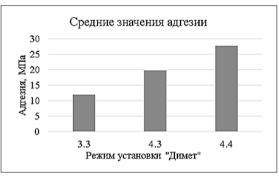


Рис. 4. Диаграмма значений адгезии

Полученные значения адгезионной прочности укладываются в интервал значений, превышающих возможную нагрузку от силы трения пары «поршневое кольцо – гильза цилиндра» [9-13].

Таблица 2

Сводная таблица результатов испытаний на когезионную прочность

		Вид сопла						
Режим			сопло из	сопло изогнутое				
(температу- ра, подача)	№ обр.	ширина пояска, 1 мм	площадь напы- ленной поверх- ности S, мм ²	усилие разрыва <i>F, H</i>	адгезия α, ΜΠа			
	1	2,05	64,21	2984	45			
3.5	2	1,51	47,3	1804	38			
	3	1,99	62,33	2197	35			
4.4	1	2,14	67,03	2295	34			
4.4	2	2,34	73,29	2432	33			
	1	1,7	53,25	2197	41			
4.5	2	1,97	61,7	2314	37,5			
	3	1,94	60,76	2667	44			

Когезионная прочность при напылении на чугунную подложку алюминиевого порошка всегда выше адгезионной. Здесь имеют место не только зацепления так называемого «анкерного» типа, но и химического взаимодействия между частицами. Это наглядно показывают и проведенные нами испытания

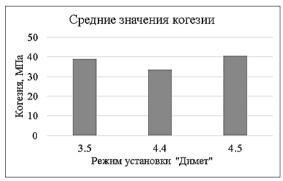


Рис. 5. Диаграмма значений когезии

Анализ результатов показал, что полученные значения полностью удовлетворяют условиям эксплуатации изделий и условиям последующего получения износостойкого керамического покрытия (*табл. 2, рис. 5*).

По результатам испытаний, ограничивающим фактором при подборе режима ХГДН оказалась адгезионная прочность. Поскольку наибольшее значение этого параметра достигается на режиме 4.4, этот режим будет использован как приоритетный.

На первом этапе сравнительных трибологических испытаний образцы прирабатывали при ступенчатом повышении нагрузки P. Длительность ступеней нагружения выбирали приблизительно одинаковую с учетом стабилизации коэффициента трения, она составляла не менее 5 мин. В течение испытаний непрерывно фиксировали силу трения F_{mp} . Обработка собранных данных позволила получить значения нагрузок для каждого из образцов (maбл. 3).

Таблица 3 Результаты испытаний на приработку

№ обр.	Материал	Смазка	Нагрузка (опт), <i>H</i>	Показатели работоспособности, <i>Н</i>			Коэф.
				$P_{\scriptscriptstyle H}$	P_o	$P_{\scriptscriptstyle{ m MII}}$	трения f_{min}
Эталон чугун	Эталон	Капельное, масло	15	5	15	45	0,08
Образец с МДО	Образец	Капельное, масло	20	10	20	45	0,09

Примечания. $P_{\scriptscriptstyle H}-$ максимальное значение нагрузки для неприработанной пары, H; $P_{\scriptscriptstyle 0}-$ оптимальное значение нагрузки при минимальном коэффициенте трения, выбранное для проведения испытаний на длительную износостойкость, H;

 $P_{\scriptscriptstyle
m MII}$ — максимальное значение нагрузки для приработанной пары трения, $H_{\scriptscriptstyle
m F}$ $f_{\scriptscriptstyle
m min}$ — значение коэффициента трения, соответствующее P_o .

Коэффициент прирабатываемости определяли по формуле:

$$\Pi = \frac{P_{MH} - P_{H}}{f_{\min} P_{O}}.$$

Испытания на износостойкость проводили при нагрузке Po до прохождения индентором по образцу 20000 м. В процессе испытания непрерывно фиксировали на диаграмме силу трения F_{mp} и глубину дорожки трения h (puc. 6).

Интенсивность изнашивания исследуемых соединений определяли по формуле:

$$I=\frac{W}{L}$$
,

где W — линейный износ образца, м; L — путь трения образца, соответствующий износу W, м; L=N·l, l — линейный размер поверхности трения сопряженного образца в направлении скольжения, м; N — число циклов, за каждый из которых поверхности трения образца проходят путь l.

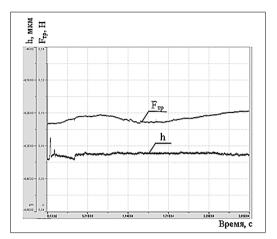


Рис. 6. Коэффициент трения и глубина дорожки трения в процессе испытания на износостойкость

Износ определяли взвешиванием по формуле:

$$W = \frac{\Delta G}{F_c}$$

где ΔG — изменение массы контробразца при испытании, кг; F_c — контурная площадь контакта образцов, м².

Взвешивание образцов и контробразцов до и после испытания осуществляли на аналитических весах ВЛР-200 и заносили в протокол. Интенсивность изнашивания пары в целом I_{Σ} определяли как сумму интенсивностей изнашивания элементов пары.

Сравнительную оценку интенсивностей изнашивания проводили по по-казателю фактора износа:

$$\Phi = \frac{I_{\Sigma}}{P_0}.$$

Результаты испытаний на износостойкость по элементам исследуемых сопряжений привели в *таблице* 4.

Таблица 4 Результаты испытаний на износостойкость

№ обр.	Материал	Износ образца, г	Износ инденто- ра, г	Показатель прирабаты- ваемости, П	Интенсивность изнашивания суммарная J_c	Фактор изна- шивания суммар- ный F_c
Эталон чугун	Эталон	0,00045	1,33·10-4	33,3	3,86·10-9	2,57·10 ⁻¹⁰
	Индентер- 100Сr6					
Образец с МДО	Образец	0,0003	1,00·10-4	19,4	2,64·10-9	1,32·10-10
	Индентор- 100Сг6					

По результатам сравнительных трибологических испытаний было установлено, что износостойкость покрытия с сочетанием технологий ХГДН и МДО превосходит износостойкость эталонного покрытия на основе серого чугуна. Комбинированное покрытие способно работать в нормальных условиях при большей нагрузке, чем чугунное. Хорошие характеристики износостойкости говорят о пригодности применения комбинированного покрытия для восстановления износа гильз цилиндров

Выводы. Результаты исследований адгезионной и когезионной прочности установили пригодность использования технологии ХГДН для восстановления внутренней поверхности цилиндров ДВС и последующего упрочнения технологией МДО. Качественное увеличения износостойкости покрытия подтверждено полученными результатами испытаний. Износ образца и индентора, интенсивность и фактор изнашивания у образца с покрытием ниже, чем у эталонного образца на одинаковых режимах нагружения. Это может позволить увеличить ресурс восстановленной гильзы на 24% по сравнению с новой. В результате данных исследований не выявлены факторы, не позволяющие успешно эксплуатировать комбинированное покрытие рабочей на поверхности гильз цилиндров. Повышенная износостойкость покрытия говорит о целесообразности его применения для восстановления ресурса гильз цилиндров. Однако необходимы дополнительные исследование и натурные испытания для подтверждения надежности данного вида покрытия.

Библиографический список

- 1. Галенко И.Ю., Пеньковский С.А. Повышение качества приработки ЦПГ тракторного дизеля с применением геомодификатора трения при обкатке // Известия СГСХА. 2011. N3. C. 101-104.
- 2. Синяя Н.В. Новый технологический процесс ремонта гильз цилиндров // Техника и оборудование для села. 2008. N1. C. 34-35.
- 3. Моисеев В.В., Семенов Н.С., Семенов А.С. Способы упрочнения и восстановления гильз цилиндров // Интернет-журнал СахГУ: Наука, образование, общество. 2014. N1(8). C. 55.
- 4. Дударева Н.Ю. Повышение работоспособности поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания формированием наноструктурного поверхностного слоя методом микродугового оксидирования: автореф. дис. ... д-ра технических наук. Уфа: Уфимский государственный авиационно-технический университет. 2018. 35 с.
- 5. Мусин Н.Х. Повышение межремонтного ресурса гильз цилиндров автомобильных двигателей центробежным индукционным напеканием в условиях ремонтных предприятий госагропрома: дис. ... канд. техн. наук. 05.20.03. М.: 1987. 334 с.
- 6. Schattauer A.: prozessentwicklung und charakterisierung eineranodischkeramisierten al-zylinderlaufbahn unter tribologischen aspekten zur reduzierung der CO2 – Emissionen. Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift. 2009.
- 7. Комаров А.И., Горанский Г.Г. Упрочнение стальных изделий микродуговым оксидированием с использованием алюминиевого подслоя, полученного холодным газодинамическим напылением // Механика машин, механизмов и материалов. 2018. N3. C. 75-82.
- 8. Лиханов В.А., Деветьяров Р.Р. Расчет двигателей внутреннего сгорания. 3-е изд., испр. и доп. Киров: Вятская ГСХА. 2008. 69 с.
- 9. Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Технический сервис в системе инженерно-технического обеспечения АПК // Сельский механизатор. 2016. N8. C. 2-5.
- 10. Дорохов А.С. Влияние размеров в поле допуска на ресурс изделий // Грузовик. 2013. N8. C. 34-37.

- 11. 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. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 12. 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.
- 13. 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. Galenko I.Yu., Pen'kovskiy S.A. Povysheniye kachestva prirabotki TsPG traktornogo dizelya s primeneniyem geomodifikatora treniya pri obkatke [Improving the quality of running-in of tractor diesel CPG with the use of a friction geomodifier during running-in]. Izvestiya SGSKhA. 2011. N3. 101-104 (In Russian).
- 2. Sinyaya N.V. Novyy tekhnologicheskiy protsess remonta gil'z tsilindrov [New technological process of cylinder liners repair]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2008. N1. 34-35 (In Russian).
- 3. Moiseyev V.V., Semenov N.S., Semenov A.S. Sposoby uprochneniya i vosstanovleniya gil'z tsilindrov [Methods of hardening and restoration of cylinder liners]. Internetzhurnal SakhGU: Nauka, obrazovaniye, obshchestvo. 2014. N1(8). 55 (In Russian).
- 4. Dudareva N.Yu. Povysheniye rabotosposobnosti poverkhnostey detaley dvigateley vnutrennego sgoraniya formirovaniyem nanostrukturnogo poverkhnostnogo sloya metodom mikrodugovogo oksidirovaniya: avtoref. dis. ... d-ra tekhnicheskikh nauk [Improving the operability of the surfaces of internal combustion engine parts by forming a nanostructured surface layer by microarc oxidation: Dr.Sc.(Eng.) abstract]. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy aviatsionno-tekhnicheskiy universitet. 2018. 35 (In Russian).
- 5. Musin N.Kh. Povysheniye mezhremontnogo resursa gil'z tsilindrov avtomobil'nykh dvigateley tsentrobezhnym induktsionnym napekaniyem v usloviyakh remontnykh predpriyatiy gosagroproma: dis. ... kand. tekhn. nauk. 05.20.03 [Increasing the repair life of cylinder liners of automobile engines by centrifugal induction baking in the conditions of repair enterprises of gosagroprom: Ph.D.(Eng.) thesis. 05.20.03]. Moscow: 1987. 334 (In Russian).
- 6. Schattauer A.: prozessentwicklung und charakterisierung eineranodischkeramisierten al-zylinderlaufbahn unter tribologischen aspekten zur reduzierung der CO2 – Emissionen. Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift. 2009.
- 7. Komarov A.I., Goranskiy G.G. Uprochneniye stal'nykh izdeliy mikrodugovym oksidirovaniyem s ispol'zovaniyem alyuminiyevogo podsloya, poluchennogo kholodnym gazodinamicheskim napyleniyem [Hardening of steel products by micro-arc oxidation using an aluminum sublayer obtained by cold gas-dynamic spraying]. Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. 2018. N3. 75-82 (In Russian).
- 8. Likhanov V.A., Devet'yarov R.R. Raschet dvigateley vnutrennego sgoraniya [Calculation of internal combustion engines]. 3rd ed. corr. and exp. Kirov: Vyatskaya GSKhA. 2008. 69 (In Russian).
- 9. Dorokhov A.S., Korneev V.M., Kataev Yu. V. Tekhnicheskiy servis v sisteme inzhenernotekhnicheskogo 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).
- 10. 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. N8. 34-37 (In Russian).

- 11. 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. Coatings. 2022. Vol. 12. N3.
- 12. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotekhnicheskie 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).
- 13. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Kontrol' geometricheskikh i fiziko-mekhanicheskikh parametrov zapasnykh chastey sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy izmeritel'noy ustanovki [Control of geometrical and physico-mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery using an automated measuring system]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122. 59-62 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Попов Н.А. — написание введения, проведение испытаний, работа над выводами, библиографией;

Чавдаров А.В. – определение цели и программы исследования, формулировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Popov N.A. – introduction, testing, conclusions, bibliography; Chavdarov A.V. – research purpose, research program, conclusions. All the authors have read and approved the final manuscript.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

ВКЛАД Д.И. ЖУРАВСКОГО И С.В. КЕРБЕДЗА В РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОСТОВ В РОССИИ

Александра Федоровна Смык, доктор физико-математических наук, доцент, e-mail: afsmyk@mail.ru; Наталья Борисовна Кузьмина, старший преподаватель Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация

Реферат. В статье представили вклад в развитие отечественной школы мостостроения двух выдающихся отечественных инженеров Станислава Валериановича Кербедза и Дмитрия Ивановича Журавского. (Цель исследования) Выявить особенности личности двух выдающихся отечественных инженеров С.В. Кербедза и Д.И.Журавского, полученного ими общего и высшего инженерного образования, позволившего им стать родоначальниками применения научных методов к расчету мостов и мостовых конструкций. (Материалы и методы) Выполнили историко-научное исследование, в котором авторы опирались на научные статьи С.В. Кербедза и Д.И.Журавского, архивные материалы, опубликованные сведения о развитии Института Корпуса инженеров путей сообщения, биографические сведения. (Результаты и обсуждение) Отметили большую роль высокого уровня преподавания в Институте Корпуса инженеров путей сообщения в формировании ученых-мостостроителей. В одном из первых учебных пособий Института на русском языке С.В. Кербедз опубликовал свои четыре научные работы, в том числе «Записку к чертежам Каменного моста», которую можно считать первым историко-техническим исследованием по мостостроению в России. Показали, что Д.И. Журавский впервые разработал общий метод расчета мостовых ферм с параллельными поясами, которые принято называть фермами системы Гау-Журавского, провел анализ действия касательных напряжений в балке при ее изгибе, что позволило вывести формулу для определения этих напряжений. Выявили основные достижения С.В. Кербедза, связанные с проектированием и строительством мостов через крупные реки в Российской империи. Конструкции пролетных сооружений в виде железных решетчатых ферм, примененные Кербедзом, были признаны во всем мире как наиболее совершенные. (Выводы) Определили особенности высшего инженерного образования в России в период его зарождения, позволившие выпускникам Института корпуса инженеров путей сообщения С.В. Кербедзу и Д.И. Журавскому стать первыми учеными, применившими и развившими научные методы расчета мостов и мостовых конструкций в России.

Ключевые слова: Д.И. Журавский, С.В. Кербедз, отечественные ученыемостостроители, инженерное образование, мостовые конструкции, теория расчета ферм, железнодорожные мосты.

Для цитирования: Смык А.Ф., Кузьмина Н.Б. Вклад Д.И. Журавского и С.В. Кербедза в развитие конструкций и методов расчета мостов в России // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 141-154. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-141-154. CDXZEL.

CONTRIBUTION OF D.I. ZHURAVSKY AND S.V. KERBEDZ TO THE DEVELOPMENT OF BRIDGE DESIGNS AND CALCULATION METHODS IN RUSSIA

Aleksandra F. Smyk, Dr.Sc.(Phys.-Math.), associate professor; Natal'ya B. Kuzmina, senior researcher Moscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the contribution of two outstanding Russian engineers Stanislav Valerianovich Kerbedz and Dmitry Ivanovich Zhuravsky to the development of the national school of bridge construction. (Research purpose) The research purpose is revealing the personality features of two outstanding Russian engineers S.V. Kerbedz and D.I. Zhuravsky, the general and higher engineering education they received, which allowed them to become the founders of the application of scientific methods to the calculation of bridges and bridge structures. (Materials and methods) We carried out a historical and scientific study, in which the authors relied on scientific articles by S.V. Kerbedza and D.I.Zhuravsky, archival materials, published information about the development of the Institute of the Corps of Railway Engineers, biographical information. (Results and discussion) They noted the great role of the high level of teaching at the Institute of the Corps of Railway Engineers in the formation of bridge scientists. In one of the first textbooks of the Institute in Russian, S.V. Kerbedz published his four scientific works, including "A note to the drawings of the Stone Bridge", which can be considered the first historical and technical research on bridge construction in Russia. Showed that D.I. Zhuravsky first developed a general method for calculating bridge trusses with parallel belts, which are commonly called Gau-Zhuravsky trusses, analyzed the effect of tangential stresses in the beam during its bending, which allowed us to derive a formula for determining these stresses. The main achievements of S.V. Kerbedz related to the design and construction of bridges across large rivers in the Russian Empire were revealed. The designs of superstructures in the form of iron lattice trusses used by Kerbedz were recognized worldwide as the most perfect. (Conclusions) We determined the features of higher engineering education in Russia during its inception, which allowed graduates of the Institute of the Corps of Railway Engineers S.V. Kerbedz and D.I. Zhuravsky to become the first scientists to apply and develop scientific methods for calculating bridges and bridge structures in Russia.

Keywords: D.I. Zhuravsky, S.V. Kerbedz, Russian bridge scientists, engineering education, bridge structures, truss calculation theory, railway bridges.

For citation: Smyk A.F., Kuz'mina N.B. Vklad D.I. Zhuravskogo i S.V. Kerbedza v razvitiye konstruktsiy i metodov rascheta mostov v Rossii [Contribution of D.I. Zhuravsky and S.V. Kerbedz to the development of bridge designs and calculation methods in Russia]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 141-154 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-141-154. CDXZEL.

Введение. До XVIII в. возведение мостовых конструкций в России не имело научных обоснований и носило исключительно интуитивный характер. Мостостроение представляло собой сложнейший, но неотъемлемый процесс при строительстве дорог, будь то сельская или магистральная дорога, железная дорога. По мере развития дорожной системы страны конструкции мостов стали усложняться, что требовало развития инженерной науки в этой

области. В начале XIX в. в России были учреждены высшие учебные заведения для подготовки инженеров путей сообщения для строительства дорог, мостов, железнодорожных путей. Впервые в 1809 г. в названии учебного заведения появилось слово «инженер», это был Институт Корпуса инженеров путей сообщения (ИКИПС), впоследствии воспитавший целую плеяду инженеров-путейцев. «Россия все еще крайне бедна дорогами. Бездорожье — одно из главнейших бедствий России, которую гнетут ее огромные расстояния» — написано в рапорте первого директора ИКИПС. Одними из первых выпускников ИКИПС стали Станислав Валерианович Кербедз и Дмитрий Иванович Журавский.

Цель исследования — выявить особенности личности двух выдающихся отечественных инженеров С.В. Кербедза и Д.И.Журавского, полученного ими общего и высшего инженерного образования, позволившего им стать родоначальниками применения научных методов к расчету мостов и мостовых конструкций.

Материалы и методы. Формирование и дальнейшая деятельность эти ученых связаны с модернизацией отечественной экономики и развитием высшего инженерного образования в России XIX в. Их вклад в историю развития отечественного высшего инженерного образования достоин изучения, он служит неотъемлемым элементом в цепи формирования отечественных инженерных традиций.

Станислав Валерианович Кербедз (1810-1899) родился в имении Новый Двор бывшей Ковенской губернии, ныне Поневежском районе Литовской Республики в семье мелкопоместного польского дворянина [1]. Однако род Кербедзов не был вписан в родословную дворянскую книгу, потребовалось 33 года, чтобы герольдия Правительствующего сената выдала свидетельство о дворянстве рода Кербедзов. В 1818 г. С.В. Кербедз поступил учиться в паневежскую шестилетнюю школу, которую он окончил в 1824 г. с похвальной грамотой. В 1824-1826 гг. он получает среднее образование в Ковенской классической гимназии и продолжает свое образование в Виленском университете на отделении физико-математических наук. После окончания университета перед 18-летним юношей предстает выбор дальнейшего пути, который совпал с подъемом экономического развития страны, требующего строительства транспортных коммуникаций, расширения фабрично-заводской промышленности и зарождения инженерной деятельности. В 1828 г. он поступает сразу на третий курс Института Корпуса инженеров путей сообщения как уже имеющий университетское образование. В 1831 г. С.В. Кербедз окончил институт в чине поручика. На выпускных экзаменах он набирает 174,68 баллов из 180 возможных и по рекомендации профессора курса построений М.С. Волкова его оставляют в институте в качестве репетитора.

Дмитрий Иванович Журавский (1821-1891) родился в Курской губернии в поместье родных его матери Любови Дмитриевны. Его прадед в 1784 г. выхлопотал потомственное дворянство. Когда Д.И. Журавскому исполнилось восемь лет, из отцовского дома, который находился в месте Мрин, его повезли в Нежин поступать в гимназию высших наук князя Безбородко. Будучи хорошо подготовленным, он поступает сразу во второй класс (в третий класс его не могли взять по возрасту). Гимназия готовила кадры для местного чиновничества, поэтому ведущее место занимали гуманитарные и юридические дисциплины. Однако в 1832 г. после ревизии гимназии ее было решено перепрофилировать в физико-математический лицей. Д.И.Журавский, с раннего детства проявлявший склонность к точным наукам, учился в лицее прилежно, а по окончании лицея в 1838 г. он оказывается первым среди

учеников выпуска этого года. В 1839 г. Д.И. Журавский поступает в Институт Корпуса инженеров путей сообщения — в это учебное заведение его привлекли «славные имена академиков Остроградского, Гесса, Купфера и Буняковского, бывших тогда профессорами института» [2].

Д.И. Журавского, как и ранее С.В. Кербедза, зачисляют сразу на третий курс как окончившего физико-математический лицей. В 1842 г. Д.И. Журавский окончил институт и 9 июня был произведен в поручики [3].

Его имя занесено на мраморную доску как первого студента выпуска. Уже через полтора месяца после окончания института его направляют на строительство железной дороги Санкт-Петербург — Москва с зачислением в резерв Главного управления [3].

Формирование ученых-мостостроителей в Институте корпуса инженеров путей сообщения. Не случайно молодых людей привлекли в ИКПС имена виднейших ученых. Первым ректором ИКИПС стал Августин Хосе Педро дель Кармен Доминго де Канделария де Бетанкур-и-Молина (Августин Августинович Бетанкур). Испанец по происхождению, он внес огромный вклад в инженерное дело России, по его проектам построено множество инженерных сооружений, среди которых здание Манежа в Москве. Должность ректора ИКИПС он занимал с 1809 по 1824 г., за это время для преподавания было привлечено множество именитых ученых, в числе которых В.И. Висковатов, С.Е. Гурьев, Д.С. Чижов. По личному приглашению А.А. Бетанкура для преподавания в ИКИПС в Петербург прибыли выпускники Политехнической школы в Париже (Ecole Polytechnique) Э. Клапейрон, Г. Ламэ, О. Ганри и Р. Шарневиль. Также Бетанкур оставил при Институте лучших выпускников и готовил из них будущих профессоров, среди них: Я.А. Севастьянов, А.Д. Готман, Ф.И. Рерберг, А.И. Рокасовский, М.С. Волков, Е.А. Адам. Наибольший интерес представляет преподавательский состав по основным предметам, сформировавшим С.В. Кербедза как ученого-мостостроителя. На момент поступления в ИКИПС С.В. Кербедза институт возглавлял П.П. Базен, также он преподавал высшую математику и вел курс механики; начертательную геометрию в те годы преподавал Я.А. Севастьянов; математику, физику и механику – Д.С. Чижов; Г. Ламэ – математику, механику и физику; а Э.К. Клапейрон, О. Ганри, К.И. Портье и М.С. Волков в разные годы читали курс построений. Особая роль принадлежит преподавателю курса практической механики, первому по успехам в науках выпускнику ИКИПС 1825 г. П.П. Мельникову, который внес значительный вклад в становление С.В. Кербедза как ученого, был его наставником и другом.

На момент поступления в ИКИПС Д.И. Журавского, должность ректора института занимал А.Д. Готман. Курс математики, в том числе дифференциальное и интегральное счисление читал В.Я. Буняковский, аналитическую механику — М.В. Остроградский, физику — Ф.Я. Купфер, химию — Г.И. Гесс. Что касается курса практической механики и построений, лекции попрежнему читали П.П. Мельников и М.С. Волков соответственно. Однако первую часть курса построений Д.И. Журавскому читал преподаватель А.С. Комаров по лекциям М.С. Волкова, вторую часть курса — помощник профессора Н.Ф. Ястрежембский, и только в выпускном классе профессор М.С. Волков читает Д.И. Журавскому раздел «Водяные и морские сообщения», также раздел «Построение железных дорог» читал помощник профессора Н.И. Липин. Стоит отметить, что в 1837 г., за два года до поступления Д.И. Журавского в ИКИПС, в связи с командировкой М.С. Волкова в западноевропейские страны для ознакомления с преподаванием курса построений в высших технический учебных заведениях с последующим составлением

полного учебного пособия по этому предмету для воспитанников Корпуса, чтение лекций по курсу построений на целый год отдают С.В. Кербедзу как имеющему «достаточные сведения к преподаванию курса построений» и способному к «точному исполнению возложенной на него обязанности с нужным успехом» [3, 4].

Д.И. Журавский поступает в ИКИПС годом позднее и лекции С.В. Кербедза ему прослушать не удается, однако в годы учебы Д.И. Журавского он оставался репетитором по курсу построений, а также вел практические занятия по прикладной механике. Вероятнее всего во время обучения между репетитором С.В. Кербедзом и учащимся Д.И. Журавским зародилась профессиональная дружба, которая дала начало развитию инженерной мысли, подарившей нашей стране множество уникальных инженерных сооружений и новых открытий в теории мостостроения.

Результаты и обсуждение. Развитие курса построений и курса прикладной механики. Основными предметами по строительному искусству были курс построений и курс практической (прикладной) механики. До 1815 г. курс построений не существовал как отдельный предмет и входил в состав курса прикладной математики. В том же году из курса теоретической механики было решено выделить механическую часть, и был организован курс прикладной механики. Курс построений охватывал «те предметы строительного искусства, которые относятся к построению путей сообщения» [5]. В 20-х гг. он включал в себя раздел о строительных материалах, строительных работах, основаниях и фундаментах, исследование, проектирование и строительство шоссейных дорог, описание мостов и мостовых конструкций, речных и морских сооружений, а также элементы строительной механики. В 1835-1836 гг. профессор Волков ввел в курс построений новый раздел «О построении железных дорог со всеми сделанными усовершенствованиями» [6].

В 1835 г. было издано учебное пособие для студентов по курсу построений «Собрание чертежей по части строительного искусства...» в двух частях, составленное тогда еще молодыми преподавателями С.В. Кербедзом, И.Ф. Бураццем, Н.Ф. Ястрежембским, В.Д. Евреиновым, В.А. Данненштерном и А.З. Демидовым [7].

Это было одно из первых учебных пособий института на русском языке. С.В. Кербедз опубликовал в нем четыре научные работы, в том числе «Записку к чертежам Каменного моста», ставшую, по мнению специалистов, первым историко-техническим исследованием по мостостроению в России. Также во второй половине 30-х гг. профессор курса постронений М.С. Волков на основании результатов своей командировки в Западную Европу для перенятия опыта преподавания курса построений издает первый русский фундаментальный учебник по своему курсу. На период обучения в ИКИПС Д.И. Журавского первая часть курса построений включала в себя предварительные исследования, материалы, используемые в сооружениях, проектирование и производство различного рода работ, в том числе земляные работы, каменные сооружения, фашинные работы, деревянные сооружения, железные и чугунные сооружения, основания каменных зданий. Вторая часть курса построений начиналась с краткого изложения теории сопротивления материалов. Хотя теоретический уровень этого раздела был на тот момент невысок, все же направление на расчет допускаемых напряжений в конструкциях было прогрессивным. Дальнейшее содержание второй части курса построений касалось строительства дорог и мостов, а именно: каменных, деревянных и чугунных. Также приводилось описание американской системы досчатых ферм Тауна. Однако расчетам элементов строительных сооружений уделялось мало внимания, поскольку эта область еще находилась в начале своего развития. В 1835 г. кафедра курса построений впервые приступила к подготовке и испытанию железных цепей для висячих мостов на цепопробной машине сидерометр. Сидерометр представляет собой устройство для проведения испытаний металла на разрыв. Следует отметить, что первая в мире крупная испытательная машина была построена именно в России [8].

Методику проведения испытаний разработал М.С. Волков, а провели испытания различных цепей С.В. Кербедз и Н.Ф. Ястрежембский. Это положило начало первой механической лаборатории в России, которая была открыта в 1854 г. на базе ИКИПС [9].

Курс прикладной механики в 1820-х гг. включал в себя следующие разделы: паровая техника, дорожно-строительные и гидротехнические машины и механизмы. В конце 1830-х гг. появляется раздел про подвижной состав железных дорог. Несмотря на высокий уровень подготовки выпускников, преподаватели ИКИПС отмечали недостаточность знаний по курсу прикладной механики. Было решено на год командировать П.П. Мельникова в Западную Европу для усовершенствования курса прикладной механики. В качестве помощника П.П. Мельникову в командировку также был отправлен С.В. Кербедз. За 15 месяцев поездки (с 5 июня 1837 по 5 сентября 1838 г.) ученые посетили Францию. Англию. Германию. Бельгию. Польшу и другие страны, в которых подробно изучали состояние механических заводов, железных дорог, гидротехнических сооружений, деятельность высших учебных заведений и встречались с видными учеными и инженерами в области прикладной механики, а также строительного искусства. 8 марта 1839 г. П.П. Мельников и С.В. Кербедз представили в ИКИПС научно-технический отчет о своей командировке в виде рукописи в шести частях объемом 1673 страницы текста и альбом чертежей на 190 листах. Этот отчет был рекомендован преподавателям как учебное пособие по курсу прикладной механики и по курсу построений.

Благодаря деятельности ведущих профессоров ИКИПС, а также многочисленных их помощников, удалось не только достичь мирового уровня преподавания дорожно-строительного искусства, но и получить мировое признание. Выпускник института 1839 г. В.А. Киприянов писал: «И смело можно сказать, что... русские инженеры как строители оказались более сведующие, чем инженеры иностранные, нахлынувшие в Россию первоначально по призванию Главного общества железных дорог» [10].

Обзор ферменных конструкций и вклад Д.И. Журавского в теорию расчета мостов. Основные связи, поддерживающие крышу здания или полотно моста, — это фермы. Развитие ферменных конструкций неразрывно связано с развитием мостостроения. Мостовая ферма с точки зрения строительной механики представляет собой сквозную стержневую систему, работающую на основную нагрузку, которая остается геометрически неизменной, с объединением в узлах шарнирами. Благодаря обилию лесов в России, мостовые конструкции главным образом изготавливались из дерева. Первой системой дощатых ферм можно считать систему Бурра, разработанную в 1804 г. Она представляла собой соединение арки с балкой (рис. 1). Эта конструкция — первый удачный пример подвесно-арочного моста с жесткими раскосами. В этой системе раскосы, предназначавшиеся первоначально лишь для увеличения жесткости, играют роль главных частей конструкции, передающих усилия от верхних узлов к нижним и наоборот, между тем как элементы поясов испытывают преимущественно сжимающие и растягивающие напряжения [11].

Более сложной была комбинированная система из балочной фермы с аркой, также предложенная Бурром ($puc.\ 1$). Впервые описание мостов этой

системы в России появилось благодаря П.П. Мельникову. Однако у П.П. Мельникова данная система фигурировала под названием «соединения системы Лонга с аркою».

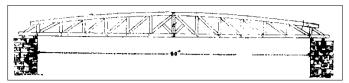


Рис.1. Ферма системы Бурра

Через полтора десятилетия американский архитектор Этель Таун спроектировал решетчатую ферму в качестве альтернативы мостам из тяжелой древесины (рис. 2). В его конструкции, запатентованной в 1820 и 1835 гг., используются простые в обращении доски, расположенные по диагонали с короткими промежутками между ними, образуя решетку. По системе Тауна было построено много мостов в Америке для шоссейных и железных дорог. П.П. Мельников познакомился с мостами системы Тауна во время своей командировки в Америку в 1839-1840 гг. П.П. Мельников отмечал их экономичность и легкость исполнения. Об этой системе он писал: «Она не производит горизонтальных давлений на быки и устои и потому допускает малые размеры в сих последних... Допуская большие отверстия, система эта не требует больших подъемов. Большое преимущество для низменных местностей и в применении к железным дорогам... По всем этим соображениям нет видимой причины не распространить употребление мостов решетчатой системы в России...» [12].

Однако он также отмечал: «Главное возражение против решетчатых мостов в применении их к железным дорогам состоит в том, что при большом отверстии они существенно гнутся и со временем принимают постоянный нагиб» [12].

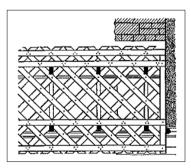


Рис. 2. Ферма системы Тауна

Другую систему деревянных мостов с параллельными поясами предложил американский военный инженер Стефан Гарриман Лонг. Ферменная система Лонга состояла из брусчатых поясов, соединенных вертикальными брусчатыми стойками (рис. 3). В клетках, образованных при пересечении стоек с поясами, расположены крестообразно распорки. В 1836 г. Лонг получил патент на предложенную им мостовую конструкцию и опубликовал брошюру с ее описанием [13].

По этой системе были построены мосты в Северной Америке, с которыми П.П. Мельников также познакомился во время своей поездки.

Система Уильяма Гау, американского изобретателя-самоучки, стала логичным продолжением системы Лонга (*puc. 4*). В этой системе стяжка брусьев осуществлялась поперечными железными стержнями, а не деревянными вертикальными стойками, как у Лонга.

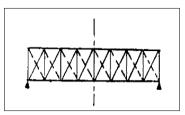


Рис. 3. Ферма системы Лонга

В июле и августе 1840 г. У. Гау получил два патента на свою систему мостовых конструкций. Мосты, построенные по этой системе, получались более дешевыми, более прочными без существенного увеличения веса, простыми по конструкции и при действии на систему грузов ее изгиб был незначителен. Кроме того, когда мост в процессе эксплуатации оседал, его легко было вернуть на прежнюю высоту. Это качество данной системы являлось незаменимым при строительстве мостов для железнодорожного сообщения, что отмечал Д.И. Журавский в своем труде «О мостах раскосной системы Гау» [14].

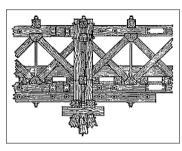


Рис. 4. Ферма системы Гау

В Россию чертежи моста, выполненного с использованием системы Гау, привез Джордж Уистлер (1800-1849) – выдающийся американский железнодорожный инженер, приглашенный Павлом Петровичем Мельниковым по поручению императора Николая I в 1842 г. для консультирования по строительству Николаевской железной дороги. Эта конструкция моста системы Гау была использована в постройке деревянных Американских мостов через Обводный канал в Санкт-Петербурге. Несмотря на широкое применение системы Гау при строительстве мостов, американские инженеры применяли крайне упрощенные приемы определения размеров составных частей ферм. Расчетов по определению сил, действующих на составные части ферм при проходе поезда по мосту, не производилось, и инженеры делали все раскосы и все тяжи каждой фермы одного и того же размера. При проектировании моста через овраг речки Веребьи Д.И. Журавский впервые рассчитал ферму Гау, что позволило внести ряд усовершенствований в конструкцию системы. Определив усилия, действующие в каждом элементе фермы от рабочей нагрузки, Д.И. Журавский пришел к выводу, что сечение железных стержней должно быть больше в тех частях фермы, в которых они испытывают большее усилие в процессе эксплуатации моста. В ходе своих исследований Д.И. Журавский впервые разработал общий метод расчета ферм с параллельными поясами. Модифицированную ферму принято называть фермой Гау-Журавского.

Теория расчета ферм, которой ранее не существовало, служит главным достижением Д.И. Журавского в этот период. Теория не носила исключительно аналитический характер — Д.И. Журавский ставил многочисленные опыты над моделями ферм, а также изготовил прибор, призванный ломать изготовленные конструкции в процессе опытов. Важно отметить, что модели и при-

бор были изготовлены ученым за счет собственных средств, и уже позднее П.П. Мельников добился выдачи Д.И. Журавскому 250 рублей на покрытие расходов. В 1849 г. техническая комиссия высказала пожелание, чтобы при дальнейшем изучении ферм американской системы «не ограничиваться одними усовершенствованиями в стержнях, но обратить внимание и на неравномерность растягивания и сжатия самих поясов в различных частях ферм» [15]. Таким образом, Д.И. Журавский не только рассчитал напряжения в железных стержнях, но и провел анализ действия касательных напряжений в балке при ее изгибе, что позволило вывести формулу для определения этих напряжений. В учебниках по сопротивлению материалов эта формула носит название «формула Журавского» [16].

«Ныне дерево для меня лишь строительный материал, который я испытываю машинами на силу прочности и, глядя на него, решаю: то ли его на сваю, то ли на раскос», – так молодой ученый описывал зарождение сопромата в России [17].

Вклад Д.И. Журавского в строительство Петербурго-Московской железной дороги. Рассматривая строительство Веребьинского моста, необходимо затронуть тему строительства Петербурго-Московской железной дороги. Разрабатывал технический проект и руководил строительством этой дороги П.П. Мельников. Летом 1842 г. в Северную дирекцию Николаевской железной дороги среди прочих выпускников Корпуса инженеров путей сообщения был назначен Д.И. Журавский. Изыскательские работы начались летом, а закончились в декабре 1842 г. при непосредственном участии Д.И. Журавского. К проектированию больших мостов в Северной дирекции приступили осенью 1842 г. Проектирование Веребьинского моста было поручено 21-летнему поручику Д.И. Журавскому (рис. 5). Перед ним стояла трудная задача, которая усложнялась еще тем, что впервые в России начиналось строительство большого числа крупных железнодорожных мостов буквально на пустом месте. Уровень знаний по определению усилий в частях мостов, по проверке прочности материалов и соединений был настолько низок, что проектирование и постройка требовали от инженера обширнейших знаний и умения самому вести научные исследования.

В июне 1850 г. была окончена сборка ферм Веребьинского моста и про-изведено его испытание самым тяжелым поездом. Всего на железной дороге Петербург—Москва было построено 8 больших мостов и 52 моста средней длины, у которых деревянное верхнее строение было устроено из ферм системы Гау. При участии Журавского были спроектированы и построены и другие железнодорожные мосты на трассе Николаевской железной дороги. По окончании строительства дороги Д.И. Журавский был награжден орденом Св. Владимира 4 степени и произведен в подполковники.

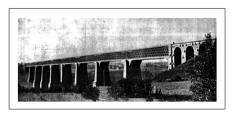


Рис. 5. Веребьинский мост

По окончании работы над строительством Веребьинского моста Д.И. Журавский опубликовал свой труд по методу расчета мостовых ферм в «Журнале Главного управления путей сообщения и публичных зданий», а также в сочинении «О мостах раскосной системы Гау». В мае 1855 г. за этот труд Д.И. Журав-

ский был удостоен полной Демидовской премии Петербургской академии наук, которая вручалась в период 1832-1865 гг. ученым, внесшим выдающийся вклад в развитие наук [18]. Фамилия Журавского стоит в числе других номинантов этой премии – Д.И. Менделеева, Н.И. Пирогова. П.И. Крузенштерна, Б.С. Якоби.

Строительство Невского моста. Вклад С.В. Кербедза. Строительство Железной дороги Петербург-Москва и Невского моста началось и закончилось практически в одни и те же годы (рис. 6). По этой причине строители активно обменивались опытом по вопросам сооружения опор мостов, испытания материалов и механизации строительных работ. Возглавил проектирование и строительство первого постоянного моста через реку Неву С.В. Кербедз. Поскольку строительство Невского моста было начато чуть раньше, руководитель строительства Николаевской железной дороги П.П. Мельников для возведения мостов воспользовался данными С.В. Кербедза «О пропорции и роде примесей к волховской извести», которую он разработал для сооружения Невского моста. Также С.В. Кербедз поделился с П.П. Мельниковым опытом использования недавно появившегося в России портландцемента, гидравлического вяжущего вещества, состав которого был запатентован только в 1824 г. в Англии, и уже известного своими свойствами, активно применявшегося Кербедзом в строительстве в 1840-е гг.



Рис. 6. Невский мост

Разводная часть моста через реку Неву изготавливалась из железа. В связи с этим С.В. Кербедз на строительной площадке создал лабораторию по испытанию элементов поворотных ферм. Для исследований С.В. Кербедзу из ИКИПС был прислан сидерометр, на котором испытания железных стержней, связывающих верхние и нижние пояса деревянных ферм для Веребьинского моста проводил Д.И. Журавский. Стоит отметить, что в качестве лесов при строительстве моста через реку Неву использовались фермы Гау. Открытие Невского моста состоялось 21 ноября 1850 г. В этот же день в связи с окончанием строительства С.В. Кербедз был произведен в генерал-майоры Корпуса инженеров путей сообщения и награжден орденом св. Владимира 3-й степени. В процессе строительства Николаевской железной дороги и Невского моста между П.П. Мельниковым, Д.И. Журавским и С.В. Кербедзом установился тесный научный контакт. В архивах сохранились многочисленные письма, которые свидетельствуют о консультациях ученых по различным вопросам производства строительных работ, взаимному обмену опытом, способствующих строительству уникальных мостовых сооружений в России.

Строительство железнодорожных мостов по проектам С.В. Кербедза. В 50-х гг. XIX в. начинается активное строительство металлических многорешетчатых мостов балочного типа. Эти мосты имели решетку, схожую с системой Тауна для деревянных мостов. В России первый такой мост был построен в 1853 г. через реку Лугу на Петербурго-Варшавской железной дороге. Проект для этого моста был составлен С.В. Кербедзом. Опираясь на теорию Д.И. Журавского, он сделал раскосы переменного сечения, причем для рас-

тянутых и сжатых раскосов конструкции различались. Конструкция пролетных строений Лужского моста была признана более совершенной, чем конструкция мостов Западной Европы, он был «первым по времени постройки железным мостом значительного отверстия с металлическими решетчатыми фермами...» [19].

Строительство Петербурго-Варшавской железной дороги было начато в 1852 г., после подписания императорского указа от 23 ноября 1951 г. под руководством инженера генерал-майора Э.И. Герстфельда. 21 ноября 1852 г. С.В. Кербедз был назначен помощником управляющего работами по сооружению железной дороги по части искусственных сооружений. Департаментом проектов и смет ведомства путей сообщения было решено командировать С.В. Кербедза в Англию «для осмотра устроенных там железных и трубчатых мостов», и в марте 1852 г. С.В. Кербедз уехал за границу, где пробыл более 5 месяцев [20].

По возвращении из командировки он составил донесение, в котором подробно описал конструкции железных мостов, построенных в Англии. Позднее его труд был опубликован в журнале Главного управления путей сообщений и зданий под названием «Обзор употребительных систем железных мостов» [21].

Департамент проектов и смет поручил С.В. Кербедзу составить проекты трех металлических мостов на Петербурго-Варшавской железной дороге, а именно: через реки Лугу, Великую, Западную Двину (рис. 7). Руководствуясь опытом строительства железных мостов в Англии, а также теорией расчета сквозных ферм Д.И. Журавского и результатами испытаний железа, специально проведенных для составления проектов этих мостов на металлургическом заводе Чарльза Берда в Петербурге, С.В. Кербедз подает на рассмотрение в Департамент проектов и смет три проекта. Первым был подан, рассмотрен и утвержден проект моста через реку Лугу, позднее – проекты мостов через реки Великую, Западную Двину. Железные фермы этих мостов имели такую жесткость, что не могли испытывать никакого изгиба — ни от собственного веса, ни от поездов, проезжающих по мосту [22].

С.В. Кербедз также принимал участие в строительстве Петергофской железной дороги, особое внимание уделив возведению железного моста в районе поселка Стрельна.

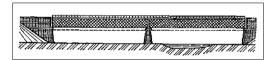


Рис. 7. Схема первого металлического железнодорожного моста через Лугу на Петербурго-Варшавской железной дороге

Выводы. В статье представлена инженерная деятельность и многолетняя совместная работа двух выдающихся отечественных ученых Д.И. Журавского и С.В. Кербедза, которая тесно связана с деятельностью их учителя и наставника П.П. Мельникова. Эти инженеры внесли значительный вклад в развитие отечественного и мирового мостостроения, их имена связаны со строительством многих уникальных для того времени инженерных сооружений. Теоретические изыскания и многочисленные научные труды Д.И. Журавского и С.В. Кербедза положили начало научной школе мостостроения в России. Д.И. Журавский впервые разработал общий метод расчета ферм с параллельными поясами, такую модифицированную ферму принято называть фермой Гау—Журавского. Конструкции пролетных сооружений в виде железных решетчатых ферм, составленная Кербедзом при строительстве

первого металлического железнодорожного моста через реку Лугу, была во всем мире признана как наиболее совершенная по сравнению с мостами Западной Европы. Деятельность Д.И. Журавского и С.В. Кербедза — это пример служения своей родине, оба они посвятили свой инженерный талант ее процветанию. Д.И. Журавский в одной из своих речей говорил: «Чтобы сокровища, разбросанные на громадном пространстве, могли сделаться действительным достоянием народа... нужно много труда со стороны инженеров, требующего много знания и большой энергии» [23].

Библиографический список

- 1. Воронин М.И., Воронина М.М. Станислав Валерианович Кербедз. 1810-1899. Л.: Наука: Ленинградское отделение. 1982. 176 с.
- 2. Нежинский лицей князя Безбородко. Гимназия высших наук и лицей князя Безбородко. 2-е изд., испр. и доп. СПб. 1881. 474 с.
 - 3. Ракчеев Е.Н. Дмитрий Иванович Журавский, 1821-1891. М.: Наука. 1984. 240 с.
- 4. Журналы Конференции Института Корпуса инженеров путей сообщения. 1836. N18. Рукопись. Библиотека ЛИИЖТа. Л. 38.
- 5. Волков М.С. Предисловие к курсу строительного искусства. ЖПС. 1842. Т. 2. Кн. 3. 268 с.
 - 6. ЛГИА. Ф. 381, 1833. Оп. 1. Д. 874. Л. 16.
 - 7. ЛГИА. Ф. 381, 1834. Оп. 13. Д. 754. Л. 1.
- 8. Белелюбский Н.Л. Мостовые этюды №2. // Журнал Министерства путей сообщения. СПб.: тип. М-ва пут. сообщ. (А. Бенке). 1890. 24 с.
- 9. Воронин М.И. Организация механической лаборатории в Институте Корпуса инженеров путей сообщения и ее роль в строительстве первых железных дорог в России // Сборник Ленинградского ордена Ленина Института инженеров железнодорожного транспорта. М. 1955. Вып. 148. С. 5-18.
- 10. К воспоминаниям о корпусе инженеров путей сообщения и его институте. В кн.: Очерки: Из записок В. А. К. М. 1882. Вып. 1. 199 с.
- 11. Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона. СПб.: Брокгауз-Ефрон. 1890-1907.
 - 12. Мельников П.П. Деревянные мосты. ЖПС. 1842. Т. 3. Кн. 2. С. 122-124.
- 13. Long S.H. Description of colonel S.H. Long's bridges: together with a series of directions to bridge builders (1841). Kessinger Publishing. LLC. 2009. 80.
- 14. Журавский Д.И. О мостах раскосной системы Гау. Ч. 1-2. СПб.: тип. Д. Кесневиля. 1855-1856. Ч. 2. О прочном сопротивлении материалов, употребляемых в частях ферм моста раскосной системы Гау. Описание сборки Веребынского моста. Нормы различных работ при построении моста. 1856. 161 с.
 - 15. ЦГИА СССР. Ф. 219. Оп. 1. Д. 4121.
 - 16. Тюлина И.А. История и методология механики. М.: МГУ. 1979. 282 с.
- 17. Аргунов О.Н., Гончаров А.С., Манжосов А.Н. Мосты, построенные под его руководством, оказались необыкновенно прочными... (К 200-летию со дня рождения выдающегося русского ученого-мостостроителя Д.И. Журавского) // События и люди в документах курских архивов. Выпуск ХХ: сборник / под ред. В.Л. Богданова. Курск: ООО «Центр рекламы «Лоцман». 2021. С. 22-38.
- 18. Двадцать четвертое присуждение П.Н. Демидовым наград, 28 мая 1855 г. СПб. 1855. 240 с.
- 19. Житков С.М. Биографии инженеров путей сообщения / под ред. заслуж. проф. П.Н. Андреева. СПб.: типо-лит. С.Ф. Яздовского и К°. Вып. 3. 1902. 94 с.
 - 20. ЦГИА СССР. Ф. 219, 1852. Оп. 1. Д. 6281. Л. 14.
- 21. Кербедз С.В. Обзор употребительных систем железных мостов. Журнал Главного управления путей сообщений и зданий. 1854. Т. 19. 25 с.

- 22. Боголюбов А.Н., Штокало И.З., Цыганкова Э.Г. История механики в России. Киев: Наук. думка. 1987. 389 с.
 - 23. Гумилевский Л.И. Русские инженеры. 2-е изд. М.: Молодая гвардия. 1953. 440 с.

References

- 1. Voronin M.I., Voronina M.M. Stanislav Valerianovich Kerbedz. 1810-1899 [Stanislav Valerianovich Kerbedz. 1810-1899]. Leningrad: Nauka: Leningradskoye otdeleniye. 1982. 176 (In Russian).
- 2. Nezhinskiy litsey knyazya Bezborodko. Gimnaziya vysshikh nauk i litsey knyazya Bezborodko [Nezhinsky Lyceum of Knyaz Bezborodko. Gymnasium of Higher Sciences and Lyceum of Knyaz Bezborodko]. 2nd ed., corr. and ext.. Saint Petersburg. 1881. 474 (In Russian).
- 3. Rakcheyev E.N. Dmitriy Ivanovich Zhuravskiy, 1821-1891 [Dmitry Ivanovich Zhuravsky, 1821-1891]. Moscow: Nauka. 1984. 240 (In Russian).
- 4. Zhurnaly Konferentsii Instituta Korpusa inzhenerov putey soobshcheniya [Journals of the Conference of the Institute of the Corps of Railway Engineers]. 1836. N18. Manuscript. Biblioteka LIIZhTa. Sh. 38 (In Russian).
- 5. Volkov M.S. Predisloviye k kursu stroitel'nogo iskusstva [Preface to the course of construction art]. ZhPS. 1842. Vol. 2. B. 3. 268 (In Russian).
 - 6. LGIA. F. 381, 1833. L. 1. C. 874. Sh. 16 (In Russian).
 - 7. LGIA. F. 381, 1834. L. 13. C. 754. Sh. 1 (In Russian).
- 8. Belelyubskiy N.L. Mostovyye etyudy №2. [Bridge sketches No. 2.] // Zhurnal Ministerstva putey soobshcheniya. SPb.: tip. M-va put. soobshch. (A. Benke). 1890. 24 (In Russian).
- 9. Voronin M.I. Organizatsiya mekhanicheskoy laboratorii v Institute Korpusa inzhenerov putey soobshcheniya i eye rol' v stroitel'stve pervykh zheleznykh dorog v Rossii [Organization of a mechanical laboratory at the Institute of the Corps of Railway Engineers and its role in the construction of the first railways in Russia]. Sbornik Leningradskogo ordena Lenina Instituta inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta. Moscow. 1955. Iss. 148. 5-18 (In Russian).
- 10. K vospominaniyam o korpuse inzhenerov putey soobshcheniya i ego institute [To the memories of the Corps of Railway Engineers and its Institute]. In: Ocherki: Iz zapisok V. A. K. M. 1882. Iss. 1. 199 (In Russian).
- 11. Entsiklopedicheskiy slovar' F.A. Brokgauza i I.A. Efrona [Encyclopedic Dictionary of F.A. Brockhaus and I.A. Efron]. Saint Petersburg.: Brokgauz-Efron. 1890-1907 (In Russian).
- 12. Mel'nikov P.P. Derevyannyye mosty [Wooden bridges]. ZhPS. 1842. Vol. 3. B. 2. 122-124 (In Russian).
- 13. Long S.H. Description of colonel S.H. Long's bridges: together with a series of directions to bridge builders (1841). Kessinger Publishing. LLC. 2009. 80.
- 14. Zhuravskiy D.I. O mostakh raskosnoy sistemy Gau [About the bridges of the Gau diagonal system]. Ch. 1-2. Saint Petersburg.: Typ. D. Kesnevil. 1855-1856. Ch. 2. O prochnom soprotivlenii materialov, upotreblyayemykh v chastyakh ferm mosta raskosnoy sistemy Gau. Opisaniye sborki Vereb'inskogo mosta. Normy razlichnykh rabot pri postroyenii mosta [On the strong resistance of materials used in parts of the bridge trusses of the Gau diagonal system. Description of the Verebyinsky Bridge assembly. Norms of various works during the construction of the bridge]. 1856. 161 (In Russian).
 - 15. TsGIA SSSR. F. 219. L. 1. C. 4121 (In Russian).
- 16. Tyulina I.A. Istoriya i metodologiya mekhaniki [History and methodology of mechanics]. Moscow: MGU. 1979. 282 (In Russian).
- 17. Argunov O.N., Goncharov A.S., Manzhosov A.N. Mosty, postroyennyye pod ego rukovodstvom, okazalis' neobyknovenno prochnymi... (K 200-letiyu so dnya rozhdeniya

vydayushchegosya russkogo uchenogo-mostostroitelya D.I. Zhuravskogo) [The bridges built under his leadership turned out to be extremely strong... (To the 200th anniversary of the birth of the outstanding Russian bridge builder scientist D.I. Zhuravsky)]. Sobytiya i lyudi v dokumentakh kurskikh arkhivov. Vypusk XX: sbornik / Ed. by V.L. Bogdanov. Kursk: OOO «Tsentr reklamy «Lotsman». 2021. 22-38 (In Russian).

- 18. Dvadtsat' chetvertoye prisuzhdeniye P.N. Demidovym nagrad, 28 maya 1855 g [The twenty-fourth award of P.N. Demidov awards, May 28, 1855]. Saint Petersburg. 1855. 240 (In Russian).
- 19. Zhitkov S.M. Biografii inzhenerov putey soobshcheniya [Biographies of railway engineers] / Ed. by hon. prof. P.N. Andreyev. Saint Petersburg.: tipo-lit. S.F. Yazdovskogo i K°. Iss. 3. 1902. 94 (In Russian).
 - 20. TsGIA SSSR. F. 219, 1852. L. 1. C. 6281. Sh. 14 (In Russian).
- 21. Kerbedz S.V. Obzor upotrebitel'nykh sistem zheleznykh mostov [Overview of common systems of iron bridges. Journal of the Main Directorate of Communication Routes and Buildings]. Zhurnal Glavnogo upravleniya putey soobshcheniy i zdaniy. 1854. Vol. 19. 25 (In Russian).
- 22. Bogolyubov A.N., Shtokalo I.Z., Tsygankova E.G. Istoriya mekhaniki v Rossii [History of mechanics in Russia]. Kiyev: Nauk. dumka. 1987. 389 (In Russian).
- 23. Gumilevskiy L.I. Russkiye inzhenery [Russian engineers]. 2nd ed. Moscow: Molodaya gyardiya. 1953. 440 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Смык А.Ф. – научное руководство, методика исследований; Кузьмина Н.Б. – сбор информации, анализ литературных источников. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Smyk A.F. – scientific guidance, research methodology; Kuzmina N.B. – collection of information, analysis of literary sources. All the authors have read and approved the final manuscript.

ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ ТРАКТОРОСТРОЕНИЯ И ТРАКТОРИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Андрей Владимирович Карасев, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: karasew@starlink.ru Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Реферат. Попытки постройки паровых плугов предпринимались с XIX века. К середине века на полях стали появляться паровые тяговые двигатели. (Цель исследования) Сделать краткий обзор начального периода истории механизации сельского хозяйства с целью выделения конструкций машин, положивших начало новым направлениям в данной области, определения хронологии основных этапов развития мотокультуры в индустриальных странах, выявления факторов, оказавших существенное влияние на ход мировой тракторизации. (Материалы и методы) Изучили литературные источники, публикации в периодической печати, патенты на принятых в истории техники принципах историзма, научной объективности и достоверности. (Результаты и обсуждение) Отметили, что механизация земледелия началась в эру пара, как только стало возможным создание мобильных двигателей. Показали, что в коние XIX века для привода машин стали использоваться двигатели внутреннего сгорания. Определили, что путь к массовой тракторизация земледелия был непростым, занял четверть века; численность тракторов значительно уступала количеству автомобилей. Агротехническая революция началась с внедрения в тракторостроение автомобильных технологий в годы Первой мировой войны. Взаимодействие тракторостроителей с фермерами, открытая состязательность способствовали выработке наиболее эффективных типов тракторов, приведших к началу массовой тракторизации сельского хозяйства. (Выводы) В истории моторизации сельскохозяйственных работ можно выделить следующие этапы: начало паровой эпохи с сороковых годов XIX века; начало эры двигателей внутреннего сгорания с 1890 года; внедрение автомобильных технологий в тракторостроение с 1917 года; разработка наиболее эффективных типов тракторов для вспашки к 1920 году; массовая тракторизация сельского хозяйства в начале 20-х годов ХХ века. Решающую роль в широкое внедрение трактора в землеобработку оказала мировая война, вызвавшая острый дефицит продовольствия, рабочих рук, тягловых животных в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: тяговый двигатель, трактор, бензиновый двигатель, тракторостроение, двигатель внутреннего сгорания, колесный трактор.

Для цитирования: Карасев А.В. Экскурс в историю тракторостроения и тракторизации сельского хозяйства // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 155-163. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-155-163. CEYDKR.

EXCURSION TO THE HISTORY OF TRACTOR BUILDING AND THE INTRODUCTION OF TRACTORS IN AGRICULTURE

Andrey V. Karasev, Ph.D.(Eng.), researcher Institute of the History of Natural Science and Technology named S.I. Vavilov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract. Attempts to build steam plows have been made since the XIX century. By the middle of the century, steam traction engines began to appear in the fields. (Research purpose) The research purpose is making a brief overview of the initial period of the history of agricultural mechanization in order to highlight the designs of machines that initiated new directions in this field, to determine the chronology of the main stages of the development of motorcycle culture in industrial countries, to identify factors that had a significant impact on the course of world tractor development. (Materials and methods) Studied literary sources, publications in periodicals, patents on the principles of historicism, scientific objectivity and reliability accepted in the history of technology. (Results and discussion) It was noted that the mechanization of agriculture began in the era of steam, as soon as it became possible to create mobile engines. It was shown that at the end of the XIX century, internal combustion engines began to be used to drive cars. It was determined that the path to mass tractor farming was not easy, it took a quarter of a century; the number of tractors was significantly inferior to the number of cars. The agrotechnical revolution began with the introduction of automotive technologies into tractor construction during the First World War. The interaction of tractor builders with farmers, open competition contributed to the development of the most effective types of tractors, which led to the beginning of mass tractor farming. (Conclusions) In the history of motorization of agricultural work, the following stages can be distinguished: the beginning of the steam era since the forties of the XIX century; the beginning of the era of internal combustion engines since 1890; the introduction of automotive technologies in tractor construction since 1917; the development of the most efficient types of tractors for plowing by 1920; mass tractor farming in the early 20s of the XX century. The decisive role in the widespread introduction of the tractor into land processing was rendered by the World War, which caused an acute shortage of food, workers, draft animals in agriculture.

Keywords: traction engine, tractor, gasoline engine, tractor building, internal combustion engine, wheeled tractor.

For citation: Karasev A.V. Ekskurs v istoriyu traktorostroyeniya i traktorizatsii sel'skogo khozyaystva [Excursion to the history of tractor building and the introduction of tractors in agriculture]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 155-163(In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-155-163.CEYDKR.

Введение. Попытки сконструировать работоспособный паровой плуг предпринимались с XIX века. К середине века стали появляться паровые тяговые двигатели. Техническая энциклопедия, вышедшая в 1934 г., дала следующее определение понятию трактор: «Трактор, самоходная по бездорожью машина-двигатель с большой свободной силой тяги на прицепном крюке, используемой для передвижных машин-орудий и для перевозки тяжестей». Началом развития современного типа трактора следует признать 1903 г. – год выпуска первых тракторов с двигателем внутреннего сгорания. Изобретение гусеничных тракторов принадлежит американской фирме *Holt* в 1912 г. Массовое производство и применение в эксплуатации тракторов положено американской фирмой Ford с выпуском в 1917 г. трактора *Fordson* [1].

Цель исследования — сделать краткий обзор начального периода истории механизации сельского хозяйства с целью выделения конструкций машин, положивших начало новым направлениям в данной области, определения хронологии основных этапов развития мотокультуры в индустриальных странах, выявления факторов, оказавших существенное влияние на ход мировой тракторизации.

Материалы и методы. Для проведения исследования старались использовать как можно более ранние литературные источники, публикации в периодической печати, поскольку они более точно отражают восприятие современниками развития технического прогресса в сельском хозяйстве. Сопоставлять изложенное в них с фактами, приведенными в более поздних источниках. Строить проведение исследования строго на принятых в истории техники принципах историзма, научной объективности и достоверности.

Результаты и обсуждение. Попытки использовать двигатель внутреннего сгорания на сельскохозяйственной технике, т. е., по мнению авторов «Технической энциклопедии», создание тракторов современного типа, предпринимались еще с конца XIX века. Так, в 1892 г. известная североамериканская компания *Case Threshing Machine Co*, производящая сельскохозяйственные орудия и технику, сконструировала экспериментальную колесную сельскохозяйственную машину сравнительно легкого веса с бензиновым двухцилиндровым двигателем, развивавшим мощность от 16 до 20 л. с. (рис. 1).

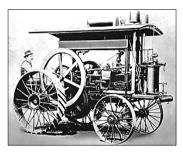


Рис. 1. Опытный тяговый двигатель Case, 1892 г.

В передней части машины размещался бак с бензином, через который протягивался воздух для получения горючей смеси. В устройстве прерывателя электрической цепи системы зажигания в качестве электрода использовался болт, установленный в головке поршня, другой электрод, уже изолированный, размещался в головке цилиндров. После нескольких лет экспериментов из-за проблем с приготовлением топливной смеси и искрообразованием фирма Case от бензинового двигателя отказалась. Паровая энергия к началу 1890-х гг. прошла многолетний путь развития и была относительно надежной, в то время как бензиновый двигатель только появился. В усовершенствовании ранних двигателей внутреннего сгорания оставили свой след инженеры многих стран. Так, венгерский инженер-механик Д. Банки (Лёвингер) совместно с Я. Чонка 13 февраля 1893 г. запатентовали карбюратор пульверизаторного типа для стационарного двигателя, получившего известность как двигатель Банки-Чонка. Немец Вильгельм Майбах представил свой патент на карбюратор через полгода. Карбюраторы этого типа разнообразных конструкций будут устанавливаться на всех двигателях с внешним смесеобразованием. Усилиями изобретателей бензиновые двигатели становились все совершенней и получали все большее распространение. В 1899 г. в США насчитывалось около 100 фирм, занимавшихся их производством. К 1901 г. были созданы уже 12 машин с двигателем внутреннего сгорания, некоторые из которых можно назвать прототипами современных тракторов. Рождением тракторостроения принято считать 1903 г., когда в США фирма Hart-Parr Company произвела первую партию так называемых «тяговых двигателей» с бензиновыми двигателями мощностью 30 л. с. на первом специализированном для такого производства заводе.

Чарльз У. Харт и Чарльз Х. Парр организовали фирму *Hart-Parr* 12 июня 1901 г. в Чарльз-Сити, штат Айова. Они разрабатывали свою машину спе-

циально для работы на «дышле», т. е. как тягач, а не только с «ремнем», как приводная машина. Об этом свидетельствует прочность трансмиссии машины, которая должна была выдерживать большие нагрузки, испытываемые при вспашке. Первый *Hart-Parr* построили в конце 1901 г. Оснащенная двухцилиндровым горизонтальным двигателем с клапаном в головке, развивающим 250 об/мин, машина соответствовала тяговой мощности 17 и 30 л. с. на приводном шкиве. Тяговая мощность была существенно меньше приводной из-за потерь в трансмиссии с передаточным отношением около 50:1, а также из-за проскальзывания колес при движении с плугом. Машина массой 5 т могла тянуть плуг с пятью лемехами (*puc.* 2).

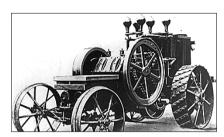


Рис. 2. Первый тяговый двигатель Hart-Parr

Первый *Hart-Parr* продали фермеру из Айовы в июле 1902 г. Машина успешно работала в течение 17 лет. Второй *Hart-Parr* был продан 15 июля 1903 г. Третий пошел в серию — завод приступил к выпуску еще 12 таких машин (*puc. 3*).



Puc. 3. Третий тяговый двигатель Hart-Parr

В 1906 г. менеджер *Hart-Parr* по продажам В.Х. Уильямс заменил в рекламе фирмы слова «бензиновый тяговый двигатель» – понятие, по его мнению, слишком расплывчатое и длинное новым словом – «трактор» (*tractor*).

Впервые слово *tractor* использовалось в патенте США N 425600, выданном еще в 1890 г. некому Д.Х. Эдвардсу на его паровую полугусеничную машину, но благодаря рекламе фирмы Hart-Parr это слово стало общеупотребительным (puc. 4).

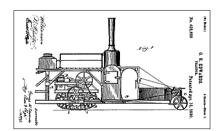


Рис. 4. Из патента Д.Х. Эдвардса на tractor

Гусеничные тракторы стали популярны благодаря Б. Холту, которому, правда, пришлось заплатить Э.О. Ломбарду 20000 долл. США в 1903 г. за право использования его патентов. Э. Ломбард запатентовал гусеничный лесовозный паровой тягач 4 мая 1901 г. Б. Холт создал первый паровой гусеничный тягач в ноябре 1904 г. Испытал его 24 ноября. Это была паровая машина Holt N77, у которой колеса заменили ходом, имевшим гусеницы с деревянными плицами, соединенные болтами с цепями. Паровые двигатели уже почти век использовались в качестве привода сельскохозяйственных орудий. Создание Р. Тревитиком в 1797 г. паровой машины высокого давления (210 кПа) позволило получить двигатель, пригодный для применения на транспорте. До этого паровые двигатели Т. Ньюкомена с 1731 г. использовали пар с давлением, близким к атмосферному. Пар, охлаждаясь, позволял атмосферному давлению перемещать поршень. В конденсаторном двигателе шотландца Д. Уатта, запатентованном в 1769 г., использовался отдельный теплообменник, позволивший увеличить эффективность атмосферной паровой машины. Установленный Р. Тревитиком в 1812 г. на молотилке паровой двигатель высокого давления оказался в эксплуатации дешевле, чем лошади. После 70 лет эксплуатации двигатель отправили в Музей науки.

В 1841 г. на выставке Королевского сельскохозяйственного общества фирма *Ransomes&May* из Ипсвича (Великобритания) представила мельничный локомобиль с горизонтальным двигателем мощностью 8 л. с. Год спустя приступили к их производству. С сороковых годов XIX в. началась паровая эпоха в механизации сельскохозяйственного труда, причем не только в Великобритании — лидере по использованию силы пара, но и в США. В 1849 г. А.Л. Аршамбо из Филадельфии построил «двигатель для фермы» (*Farm engines*) с компактной паровой машиной горизонтального типа, мощностью 4 л. с. массой 1814 кг, называемый *Forty-Niner*. Позднее *Farm engines* производили мощностью 10 и 30 л. с.

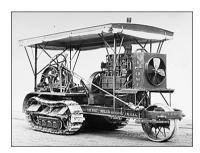
В 1890 г. в США работали около 3 тысяч паровых тягачей и 2661 паровая молотилка. К 1900 г. более 30 фирм США производили около 5000 больших паровых тяговых двигателей в год. Эти машины были значительно усовершенствованы по сравнению с ранними моделями. Зубчатые передачи, валы и другие быстроизнашивающиеся детали были сконструированы таким образом, чтобы выдерживать огромные нагрузки, возлагаемые на них при буксировке больших молотилок или вспашки множества борозд одновременно.

Темпы роста паровой силы были намного меньше, чем рост лошадиных сил. Использование энергии пара явно не могло заменить лошадь в фермерском хозяйстве. Сельскохозяйственные работы по-прежнему базировались на патриархальных технологиях. Для паровой машины обычно требовалась бригада обслуживания из семи человек, включая одного высококвалифицированного и хорошо оплачиваемого лицензированного «сельскохозяйственного инженера». Он вставал посреди ночи, чтобы разжечь огонь в котле для получения пара с восходом солнца. У паровых двигателей была огромная потребность в воде и топливе, будь то уголь, дрова или солома. Большая часть времени бригада тратила на заправку машины. Паровые машины вызывали пожары, их котлы грозили взрывами. Патенты Н. Отто на изобретенный им взрывной двигатель были настолько базовыми по своему характеру, что сдерживали развитие двигателей внутреннего сгорания. Однако с истечением срока действия этих патентов в 1890 г. многие фирмы и изобретатели занялись ими. Бензиновые двигатели стали устанавливать на сельскохозяйственные машины.

Таким образом, в 1890 г. началась эра двигателей внутреннего сгорания и моторизация сельскохозяйственной техники — развитие мотокультуры. В течение нескольких лет было проведено много усовершенствований, сделавших бензиновые двигатели практичными источниками механической энер-

гии. В 1899 г. в США насчитывалось около 100 фирм, занимавшихся производством двигателей внутреннего сгорания. В начале октября 1906 г. Б. Хольт организовал *Aurora Engine Company* в Стоктоне, Калифорния, и начала экспериментировать с двигателями внутреннего сгорания. Фирма семьи Хольта специализировалась на производстве комбайнов. Для их буксировки требовалось несколько десятков лошадей, что мешало развитию семейного бизнеса.

В 1908 г. был выпущен трактор *Holt Model* 40 с бензиновым двигателем мощностью около 40 л. с. Годом позже его сменила модель *Holt Model* 45 Caterpillar. В 1909 г. произведен первый трактор Holt, получивший название Caterpillar (*puc. 5*). Шасси гусеничного трактора служило для постройки самоходного комбайна фирмы. В 1910 г. Холт зарегистрировал название *Caterpillar* в качестве товарного знака в Патентном бюро США. В 1911 г. компания представила *Holt Model* 60 *Caterpillar*, в 1912 г. – *Holt Baby 30 Caterpillar*.



Puc. 5. Трактор Holt Caterpillar

Описание 8-тонного трактора *Holt Model* 45 *Caterpillar* приводилось в журнале «Автомобиль» за 1911 г. N3 [2].

Первым гусеничным трактором, испытанным в апреле 1912 г. в России стал трактор *Holt*. Испытания для сельского хозяйства проводило Главное управление землеустройства и земледелия в Киеве при Акимовском отделении Бюро сельскохозяйственной механики. Эта машина также демонстрировалась на автомобильной выставке в Петербурге среди других тракторов и Всероссийской выставке в Киеве [3].

Значительный вклад в становление отечественного тракторного дела внесли испытания тракторов, которые проводились на Бутырском хуторе, сыгравшие огромную роль не только в деле научно-практического изучения иностранного и русского инвентаря, но и в деле его усовершенствования и приспособления к русским условиям [4].

Бензиновый двигатель значительно уменьшил габариты и массу трактора, снизил его стоимость, сделав его более доступным и экономичным. Однако даже в США с его месторождениями техасской нефти, из-за резко возросшего спроса на бензин вследствие бурного развития автомобилизации, его стоимость увеличилась в разы. В 1904 г. Ч.У. Харт и Ч.Х. Парр изобрели двойной карбюратор, дозирующий керосин и воду [5].

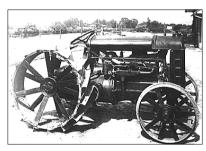
Работа двигателя на керосине вызывала серьезную проблему с детонацией. Добавление воды решало эту проблему. Двигатель запускался на бензине. После прогрева двигателя подачу топлива переключали на керосин. Затем, когда двигатель под нагрузкой начинал стучать, механизатор открывал кран для подачи воды в цилиндры. К 1908 г. *Hart-Parr* стала международной компанией. Торговые сделки заключались с клиентами из многих стран, в том числе из России. Трактор *Hart-Parr* был детально испытан в 1915 г.

В 1910 г. 15 компаний США произвели 4 тыс. тракторов. Автомобилей было произведено гораздо больше — 180 тыс. На ферме автомобиль, столь

необходимое транспортное средство, служил проводником моторизации сельского хозяйства. Благодаря достижениям двигателестроения размеры тракторов уменьшались, они становились более легкими и универсальными, подходящими для большего числа фермеров. Попытки вывести на рынок легкие трактора предпринимались и раньше, особенно в Европе, но они не были успешны в коммерческом плане. К 1915 г. на рынке тракторов США уже предлагался широкий ряд разнообразных моделей, правда, не всегда хорошего качества, но конкуренция способствовала снижению цены.

В 1917 г., когда США вступили в Первую мировую войну, перед страной стал вопрос обеспечения продовольствием Европы, а потому немедленного увеличения площади запашки. Правительство гарантировало каждому фермеру определенную цену за хлеб. Затем министерство продовольствия предоставило каждому штату возможность организовывать комитеты, которые стали проводить тракторные демонстрации для ознакомления фермеров с работой тракторов прямо во время вспашки, проведенной на их глазах. Фермеры получали данные о времени работы и израсходованном топливе. В результате предпринятых мер площадь пахотной земли была увеличена на 15-20%, производство зерна увеличилось. Кроме того, в ходе проведения демонстраций было установлено, что наиболее экономным для фермера является трактор с мошностью. достаточной для вспашки трехкорпускным плугом; следующим за ним по экономичности шел тип трактора для работы с двухкорпускным плугом. Производство тракторов в США увеличилось в 1917 г. более чем вдвое – произведено 62742 трактора. 85 новых компаний вышли на рынок. Число производителей превысило 200. Приблизительно 15000 тракторов экспортировали. В США были проданы 49504 машины.

Спрос на тракторы был настолько велик, что несколько компаний сделали приспособления для автомобилей Ford и других, чтобы они могли работать как тракторы. В 1917 г. Г. Форд, после создания в 1915 г. опытного трактора $Model\ B$, начал производство трактора Fordson модели F на новом заводе $(puc.\ 6)$. Это был первый трактор, в котором в качестве рамы использовались соединенные корпуса агрегатов, такую конструкцию затем приняли практически все производители тракторов.



Puc. 6. Трактор Fordson, model F

Трактор Fordson Model F весил только 1320 кг. На тракторе использовался двигатель мощностью 20 л. с., во многом похожий на двигатель автомобиля Ford Model T. Как и многие двигатели того времени, он был многотопливным: обычно его настраивали на бензин или керосин, но можно было использовать спирт и другое топливо. Запуск двигателя производился на бензине. Для работы на керосине в системе впуска после карбюратора стоял испаритель. Смесь, поступающая из карбюратора, была намеренно обогащенной. Испаритель нагревал ее и смешивал с большим количеством воздуха, чтобы объединить до конечного соотношения перед подачей во впускной кол-

лектор. В системе впуска применялся воздухоочиститель с водяной ванной для улучшения фильтрации пыли. В дальнейшим такой тип воздухоочистителя с масленой ванной станет самым распространенным. В 1918 г. экономика США на второй год войны столкнулась с острой нехваткой рабочей силы и тягловых животных. Г. Форд объявил, что тракторы Fordson будут продаваться только правительствам штата и страны. К маю несколько штатов договорились о выделении примерно 7000 машин. Сельскохозяйственный трактор сыграл важную роль в разрешении кризисной ситуации, в 1918 г. было произведено 132697 тракторов, из которых в США остались 96470 машин.

С окончанием войны производство тракторов не уменьшилось: в 1919 г. количество произведенных тракторов возросло до 182162 шт. из которых 164590 шт. получило сельское хозяйство страны, а в 1920 г. – до 208320 шт. и 162988 шт. тракторов соответственно. К августу 1920 г. Г. Форд утверждал, что было продано 100 тыс. тракторов Fordson, и их производство увеличивалось. С 1918 г. количество голов лошадей и мулов в сельском хозяйстве США стало неуклонно уменьшаться, а количество тракторов существенно возрастать. На годовых тракторных демонстрациях в США стали проводить более полные испытания, после чего университеты перешли к широкомасштабным лабораторным испытаниям тракторов. Чтобы, по возможности, устранить из опытов неравномерное сопротивление пахотного слоя, неизбежное при всяких почвах, испытательная лаборатория Небрасского университета создала у себя специальный участок для опытов с тракторной обработкой.

За два года произошел радикальный пересмотр конструкции трактора. Наивыгоднейшими в сельском хозяйстве стали колесные машины мощностью 20-25 и 25-30 л. с., работающие с 2- и 3-корпусными плугами. Новые трактора зарекомендовали себя как хорошая замена лошади при вспашке, подготовке почвы, посеве и возделывании самых разных полевых культур.

Кроме того, они были вполне способны обеспечить мощность для скашивания сена и уборки пшеницы и других культур. Тракторы большой мощности как специальные машины для вспашки оказались нерентабельными, так как бездействовали большую часть года. Проведенный Департаментом земледелия США в 1922 г. опрос фермеров показал, что фермеры считают тракторную вспашку более выгодной: 578 против 98. Причем 94% из первой группы и 74% из второй считали тракторную обработку более качественной. Благодаря приобретению трактора площадь распашки увеличилась на 55% у первой группы и на 7 – у второй.

В Англии к 1920 г. вопрос о выгодности тракторов был окончательно решен в пользу тракторов. Если в начале 1918 г. на английских фермах было 3 тыс. шт., то в 1920 г. -20 тыс. Директор сельскохозяйственной станции Е. Руссель высказал мнение: «Мы смотрим на применение тракторов в английском хозяйстве с большой надеждой. Они дают возможность удержать лучшую молодежь на земле, создав новые лучшие оплачиваемые должности, чем имели пахари, они дают возможность поднять новые площади, увеличив количество обрабатываемой земли, и производить вспашку под посев тогда, когда хозяин этого хочет, а не тогда когда он может сделать эту работу. Без сомнения, трактор не может заменить лошадей, но он может пополнить рабочую силу хозяйства, где ее не хватает» [6].

В целом трактор оказал заметное положительное экономическое влияние [7-9]. Лошади и мулы, обеспечивая ферму силой, съедали 20-25% продукта, который они помогали вырастить. Заменив их машинами, фермеры смогли сократить свои расходы и снизить стоимость продуктов питания. Что еще более важно, миллионы сельскохозяйственных рабочих, высвобожденных

благодаря тракторам, могли вкладывать свой труд в расширение сельскохозяйственного производства и другие отрасли экономики.

Выводы. В ранней истории моторизации сельскохозяйственных работ можно выделить следующие этапы развития: начало паровой эпохи с сороковых годов XIX века; начало эры двигателей внутреннего сгорания с 1890 г.; внедрение автомобильных технологий в тракторостроение с 1917 г.; разработка наиболее эффективных типов тракторов для вспашки к 1920 г.; массовая тракторизация сельского хозяйства в начале 20-х годов XX века.

Библиографический список

- 1. Техническая энциклопедия. Т. 23. 1934. С. 800-802.
- 2. Нагель А. Локомотор с бензиновым двигателем, применяемый в Калифорнии // Автомобиль. 1911. N3. C. 3384-3385.
- 3. Автомобили 1913 года. IV Международная автомобильная выставка в С.-Петербурге. Часть II. Автомобили специального назначения, принадлежности и пр. СПб. 1913. С. 232.
- 4. Сладков Н.В. Подход к рациональному разрешению вопроса о выборе типа сельскохозяйственного трактора для России // Мотор. 1923. N2. C. 52-60.
- 5. The Hart-Parr tractor. A National historic mechanical engineering landmark. Iowa. ASME International. Is. 190. 1996. 9.
 - 6. Russel E. Motdern Farming. 1920. N5.
- 7. Gray R.B. Development of the Agricultural Tractor in the United States: Up to 1919 inclusive. American Society of Agricultural Engineers. Information Series N107. 1954.
 - 8. Leffingwell R. Classic Farm Tractors: History of the Farm Tractor. Crestline Books. 1996. 192.
- 9. Brown J. Steam on the farm: a history of agricultural steam engines 1800 to 1950. Crowood. 2008.190.

References

- 1. Tekhnicheskaya entsiklopediya [Technical Encyclopedia]. Vol. 23. 1934. 800-802 (In Russian).
- 2. Nagel' A. Lokomotor s benzinovym dvigatelem, primenyayemyy v Kalifornii [A gasoline-powered locomotive used in California]. Avtomobil'. 1911. N3. 3384-3385 (In Russian).
- 3. Avtomobili 1913 goda. IV Mezhdunarodnaya avtomobil'naya vystavka v S.-Peterburge. Chast' II. Avtomobili spetsial'nogo naznacheniya, prinadlezhnosti i pr. [Cars of 1913. IV International Automobile Exhibition in St. Petersburg. Part II. Special purpose vehicles, accessories, etc.] Saint Petersburg. 1913. 232 (In Russian).
- 4. Sladkov N.V. Podkhod k ratsional'nomu razresheniyu voprosa o vybore tipa sel'skokhozyaystvennogo traktora dlya Rossii [An approach to the rational resolution of the issue of choosing the type of agricultural tractor for Russia]. Motor. 1923. N2. 52-60 (In Russian).
- 5. The Hart-Parr tractor. A National historic mechanical engineering landmark. Iowa. ASME International. Is. 190. 1996. 9.
 - 6. Russel E. Motdern Farming. 1920. N5.
- 7. Gray R.B. Development of the Agricultural Tractor in the United States: Up to 1919 inclusive. American Society of Agricultural Engineers. Information Series N107. 1954.
- 8. Leffingwell R. Classic Farm Tractors: History of the Farm Tractor. Crestline Books. 1996. 192.
- 9. Brown J. Steam on the farm: a history of agricultural steam engines 1800 to 1950. Crowood. 2008. 190.

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

ВКЛАД П.Л. ЧЕБЫШЁВА В РАЗВИТИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В РОССИИ

Александра Федоровна Смык, доктор физико-математических наук, доцент, e-mail: afsmyk@mail.ru; Артур Артурович Артамонов, магистрант Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация

Реферат. Научное творчество академика П.Л. Чебышёва (1821-1894) связано с историей развития практической механики, которая представляет собой применение математических начал к построению машин. Помимо выдающихся работ по теории простых чисел, теории вероятностей и других областей математики, П.Л. Чебышёв основал математическую теорию синтеза машин и разработал ряд важных концепций механизмов. (Цель исследования) Представить программу научной деятельности П.Л. Чебышёва, направленной на поиски математической теории синтеза машин; провести историко-научное исследование проблемы генезиса интереса П.Л. Чебышёва к вопросам прикладной механики. (Материалы и методы) Изучили оригинальные работы П.Л. Чебышёва, материалы историко-научных исследований в отечественной и зарубежной литературе, архивные сведения. (Результаты и обсуждение) Исследовали вопросы генезиса интереса П.Л. Чебышёва к развитию практической механики. Среди факторов, оказавших влияние на активную деятельность П.Л. Чебышёва и выдающиеся результаты в области практической механики, рассмотрели следующие: взаимодействие с Н.В. Брашманом в период обучения в Московском университете; изучение классических работ Ж.-В. Понселе; личные контакты в ходе зарубежных командировок и дальнейшее взаимодействие с известными европейскими математиками и механиками того времени; посещение и подробное изучение музеев машин и моделей в Париже, Брюсселе, Лондоне. Обратили внимание на цель, которую ставил перед собой ученый – минимизировать затраты и достичь наибольшей эффективности в работе машин. Подтверждением этого служит сохранившийся образец механической счетной машины непрерывного действия, разработанной и созданной при непосредственном участии П.Л. Чебышёва. (Выводы) П.Л. Чебышёв внес выдающийся вклад в развитие практической механики в России, заложил основы теории синтеза механизмов, стал основоположником теории структуры плоских механизмов.

Ключевые слова: прикладная механика, теория синтеза механизмов, арифмометр Чебышёва, механизмы Чебышёва, формула Чебышёва.

Для цитирования: Смык А.Ф., Артамонов А.А. Вклад П.Л. Чебышёва в развитие практической механики в России // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 164-175. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-164-175. FRQIKH.

CONTRIBUTION OF P.L. CHEBYSHEV TO THE DEVELOPMENT OF PRACTICAL MECHANICS IN RUSSIA

Aleksandra F. Smyk, Dr.Sc.(Phys.-Math.), associate professor; Artur A. Artamonov, masters student Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. The scientific creativity of academician P.L. Chebyshev (1821-1894) is connected with the history of the development of practical mechanics, which is the application of mathematical principles to the construction of machines. In addition to outstanding works on the theory of prime numbers, probability theory and other areas of mathematics. P.L. Chebyshev founded the mathematical theory of machine synthesis and developed a number of important concepts of mechanisms. (Research purpose) The research purpose is presenting the program of P.L. Chebyshev's scientific activity aimed at the search for a mathematical theory of machine synthesis; to conduct a historical and scientific study of the problem of the genesis of P.L. Chebyshev's interest in applied mechanics. (Materials and methods) Studied the original works of P.L. Chebyshev, materials of historical and scientific research in domestic and foreign literature, archival information. (Results and discussion) The questions of the genesis of P.L. Chebyshev's interest in the development of practical mechanics were investigated. Among the factors that influenced the active activity of P.L. Chebyshev and outstanding results in the field of practical mechanics, the following were considered: interaction with N.V. Brashman during his studies at Moscow University; study of classical works by J.-V. Poncelet; personal contacts during foreign business trips and further interaction with famous European mathematicians and mechanics of that time; visiting and detailed study of the museums of machines and models in Paris, Brussels, London. We paid attention to the goal that the scientist set for himself - to minimize costs and achieve the greatest efficiency in the operation of machines. This is confirmed by the preserved sample of a continuous mechanical calculating machine, developed and created with the direct participation of P.L. Chebyshev. (Conclusions) P.L. Chebyshev made an outstanding contribution to the development of practical mechanics in Russia, laid the foundations of the theory of synthesis of mechanisms, became the founder of the theory of the structure of plane mechanisms.

Keywords: applied mechanics, theory of mechanism synthesis, Chebyshev arithmometer, Chebyshev mechanisms, Chebyshev formula.

For citation: Smyk A.F., Artamonov A.A. Vklad P.L. Chebysheva v razvitiye prakticheskoy mekhaniki v Rossii [Contribution of P.L. Chebyshev to the development of practical mechanics in Russia]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 164-175 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-164-175. FROIKH.

Ведение. Практическая механика или прикладная механика представляет собой применение начал теоретической механики к построению машин. Научными основами прикладной механики служат математика и теоретическая механика. В истории прикладной механики в России в XIX в. как науки, игравшей значительную роль в научно-техническом и промышленном развитии нашей страны, большое значение имеет научная и педагогическая деятельность П.Л. Чебышёва. Он основал математическую теорию синтеза механизмов и разработал ряд практически важных концепций механизмов. Историки науки выделяют три сложившиеся в России во второй половине XIX в. научные школы в области теории механизмов: П.Л. Чебышёва в Петербурге, В.Н. Лигина в Одессе и Н.Е. Жуковского в Москве [1].

Историко-научный анализ становления и развития основных идей теории механизмов и машин можно найти в работах отечественных ученых: И.И. Артоболевского, А.П. Юшкевича, А.Н. Боголюбова, А.М. Токаренко [2-6]. Отдельные вопросы прикладной механики, связанные с научным творчеством П.Л. Чебышёва, исследовали зарубежные авторы [7-9]. В конце XIX — начале XX в. в Российской империи, позже в СССР, механизмы Чебышёва часто освещались в научно-популярной литературе [10, 11]. При объяснении работы

любой сложной машины — паровоза, экскаватора, швейной машины, автомобиля, станка-автомата мы обязательно обращаемся к рычажному механизму. Конструкции плоских шарнирных механизмов П.Л. Чебышёва достаточно просты и доступны для изучения в школьном возрасте, они служат неотъемлемым элементом конструирования и модернизации различных машин (рис. 1). Работы П.Л. Чебышёва по-прежнему остаются актуальными для современных математиков. Его имя носит научный журнал «Чебышевский сборник», в котором публикуются статьи по различным направлениям современной математики — от теории чисел, алгебры и математической логики до численных методов и теории оптимизации. К 190-летию и 200-летию со дня рождения П.Л. Чебышёва в нем были опубликованы работы отечественных ученых, отражающие различные стороны личности Чебышёва, его педагогическую деятельность и вклад в подготовку инженерных кадров [12, 13].

«Чебышевский сборник» продолжает дело П.Л. Чебышёва по изданию первого в России математического журнала «Математический сборник». В Математическом институте им. В.А. Стеклова РАН в лаборатории популяризации и пропаганды математики в целях просвещения и популяризации механизмов, созданных П.Л. Чебышёвым, реализована идея отечественного математика Н.Н. Андреева по созданию цифрового проекта «Механизмы П.Л. Чебышёва». В проекте собраны все механизмы, созданные изобретателем, которые хранятся в разных городах России и Европы.

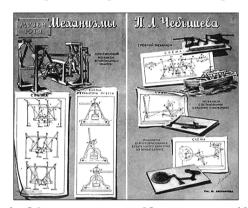


Рис. 1. Обложка журнала «Юный техник», 1956 г.

В конце XX в. зарубежные математики и историки математики отмечали «ограниченную оценку Западом научного прогресса в далеком С.-Петербурге, ныне Ленинграде» и для них почти не была широко известна оценка вклада П.Л. Чебышёва в развитие теории вероятностей, теории чисел, теории механизмов. В то же время американский математик и историк науки П. Дж. Дэвис в 1983 г. писал в своей книге «Нить: математическая пряжа» (*The thread: A mathematical yarn*) о том, что «успех России в космических полетах в 1950- х годах можно отнести к математикам российского научного сообщества, интеллектуальным правнукам Чебышёва» [9].

Цель исследования – представить программу научной деятельности П.Л. Чебышёва, направленной на поиски математической теории синтеза машин; предложить историко-научное исследование проблемы генезиса интереса П.Л. Чебышёва к вопросам прикладной механики.

Материалы и методы. Программа научной деятельности П.Л. Чебышева. Пафнутий Львович Чебышёв (1821-1894) — одна из самых значимых фигур в истории отечественной математики, с его именем связано само понятие национальная российская математическая наука (рис. 2).



Рис. 2. П.Л. Чебышев (1821-1894)

Он – основатель первой в России петербургской математической школы. В творчестве Пафнутия Львовича Чебышёва сочетаются исследования как по чистой математике, так и необыкновенная увлеченность машинами и механизмами, их конструированием и теорией. Программа всей научной деятельности П.Л. Чебышёва может быть выражена его словами: «...большая часть вопросов практики приводится к задачам наибольших и наименьших величин... и только решением этих задач мы можем удовлетворить требованиям практики, которая везде ищет самого лучшего, самого выгодного» [14]. В 1856 г. в статье «Черчение географических карт» он пишет: «Сближение теории с практикой дает самые благотворные результаты, и не одна только практика от этого выигрывает; сами науки развиваются под влиянием ее: она открывает им новые предметы для исследования, или новые стороны в предметах, давно известных. Несмотря на ту высокую степень развития, до которой доведены науки математические трудами великих геометров трех последних столетий, практика явно обнаруживает неполноту их во многих отношениях; она предлагает вопросы, существенно новые для науки и, таким образом вызывает на изыскание совершенно новых метод» [14].

Еще в раннем детстве из-за врожденной хроматы и невозможности принимать участие в детских играх он предпочитал читать и заниматься всякого рода механическими устройствами, впоследствии увлекся конструированием механизмов. Большую роль в становлении П.Л. Чебышёва сыграли его учителя по Московскому университету, длительные командировки во Францию, Германию, Англию и общение с известными европейскими математиками и инженерами, а также посещение музеев машин и моделей в Париже, Брюсселе, Лондоне и изучение различных механизмов для передачи движения. «Между прочим мое внимание привлекли машины занимательного механика Вокансона, арифметическая машина Паскаля, различные приводы для поднятия воды, машины бумагопрядильные и льнопрядильные, машины металлургические» – писал 31-летний экстраординарный профессор П.Л. Чебышёв в своем отчете о зарубежной командировке. Чтобы понять первоисточник идей Чебышёва достаточно обратить внимание на то, что в этих посещениях при изучении практических приборов его интересуют вопросы эффективности: «Изучив наблюдения Кулона, он [П.Л. Чебышёв] отмечает недочеты тогдашней теории мельниц, приходит к заключению, что теория эта должна быть построена на новых началах, и ставит задачей не только найти аналитические выражения для определения количества работы данной мельницы, но и для определения наивыгоднейшей для работы формы крыльев. Начало наивыгоднейшего использования сил природы кладется в основу теории» [15].

В зрелые годы Чебышёвым была решена проблема аналитического синтеза механизмов, он создал сорок моделей оригинальных механизмов. Среди них арифмометр Чебышёва — первая отечественная механическая вы-

числительная машина, сортировочная машина, стопоходящая машина как предшественник всех современных роботов (*puc. 3, 4*). Многие статьи Чебышёва имеют далеко не математические названия — «О некотором видоизменении коленчатого параллелограмма Уатта» (1861 г.), «О построении географических карт» (1856 г.), «Об одном механизме» (1868 г.), «О центробежном уравнителе» (1871 г.), «О зубчатых колесах» (1872 г.), «О кройке одежды» (1878 г.). Экспериментируя с построенными им механизмами, он создал теорию приближения функций полиномами, наименее уклоняющимися от нуля. Чебышёвым впервые было показано, как следует применять математические методы к решению задач теории механизмов, а также он предложил действенные методы синтеза механизмов, основанные на учении об их структуре. «Гений Чебышёва представлял собой исключительный образец соединения практики в высшем смысле этого слова с творческой обобщающей силой отвлеченного мыслителя-математика» [15].

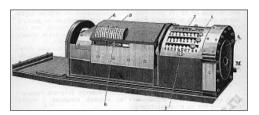


Рис. 3. Арифмометр Чебышёва

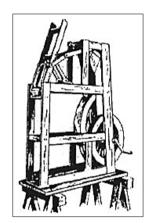


Рис. 4. Сортировочная машина П.Л. Чебышёва, которая демонстрировалась на Чикагской выставке в 1893 г.

Результаты и обсуждение. Истоки интереса к практической механике. В 1841 г. П.Л. Чебышёв окончил обучение на втором физико-математическом отделении философского факультета Московского университета, где спустя пять лет он защитил магистерскую диссертацию «Опыт элементарного анализа теории вероятностей». Существенное влияние на формирование молодого ученого оказал его учитель профессор прикладной математики и механики Московского университета Николай Владимирович Брашман (1796- 1866), основатель Московского математического общества. Будучи инженером и математиком по образованию, Н.В. Брашман обратил серьезное внимание при преподавании механики на практическую сторону этой науки, на ее приложение. В России в тот период развивалось «реальное» образование – высшее техническое образование, для которого требовались преподаватели специальных дисциплин. Н.В. Брашман один из первых в университете по достоинству оценил значение прикладных дисциплин в университетском обучении, на лекциях он излагал теорию устройства водяных колес, водоподъемных машин и прочее [16]. Плодотворное влияние Н.В. Брашмана сам Чебышёв не раз отмечал. Работа Чебышёва «Разложение в ряды при помощи непрерывных дробей» была оформлена в виде письма к Н.В. Брашману, в этом письме он пишет: «Сказанного мною достаточно чтобы видеть, как много интереса представляет предмет, на который я наведен Вашими лекциями и всегда драгоценными для меня беседами с вами».

Благодаря Н.В. Брашману Чебышёв рано познакомился с работами французского инженера, математика и механика Жана-Виктора Понселе (1788-1867). В генезисе представлений Чебышёва о единстве теоретических исследований и практических применений лежит влияние классических работ Ж.-В. Понселе, который являлся в науке и теоретиком, и практиком. В 1826 г. Понселе опубликовал «Курс механики, примененный к машинам», а в 1829 г. – элементарный курс «Введение в индустриальную физическую или экспериментальную механику», в которых он первым из европейских ученых развил концепцию механики, содержащую как абстрактные идеи, так и их практическое применение. На становление Чебышева большое влияние оказали также профессора Московского университета Николай Ефимович Зернов (1804-1862) и Александр Степанович Ершов (1818-1867). В 1850 г. после защиты докторской диссертации «Об интегрировании с помощью логарифмов» 29-летний Чебышёв стал профессором Санкт-Петербургского университета, читал лекции по высшей алгебре, теории чисел, теории эллиптических функций и практической механике.

Одним из факторов успешной работы Чебышёва в области практической механики можно считать его обширную связь с ведущими математиками и механиками своего времени. Чебышёв не работал изолированно в Санкт-Петербурге, он поддерживал личные контакты со многими выдающимися учеными Западной Европы вплоть до 1884 г. За время своей педагогической деятельности в Петербургском университете П.Л. Чебышёв совершил шесть научных командировок за границу в период с 1852 по 1878 г. Впервые в 1852 г. преподавателю практической механики, адъюнкту по кафедре математики Пафнутию Чебышёву было поручено съездить в Лондон на Всемирную выставку для изучения самых совершенных механических производств. В представлении попечителю С.-Петербургского учебного округа, подписанного профессорами С.-Петербургского университета Э. Ленцем, В. Буняковским и О. Сомовым (с ним Чебышёв близко подружился еще в начале своей работы в Петербургском университете, оба они были учениками Н.В. Брашмана) говорится о том, что обширные познания Чебышёва в практической механике и в математическом анализе «служат несомненным ручательством того, что все новое в устройстве машин будет перенесено в наше отечество и послужит к усовершенствованию мануфактур» [14].

Три летние месяца 1852 г. до поездки в Англию П.Л. Чебышев провел во Франции. В своем отчете попечителю С.-Петербургского учебного округа он написал: «...первые шесть недель были употреблены мною на обозрение моделей и машин, которые находятся в Conservatoire des arts et me 'tiers (Музей искусств и ремесел) и фабрик в Париже и окрестностях. Железная дорога С.-Жермена доставила мне случай познакомиться с устройством атмосферических железных дорог... особое внимание мое обратили заводы Гаянжа, близ Меца, известные превосходною обработкою железных руд и производством многих машин. По возвращении из восточных департаментов я ездил в южные до г. Бордо. Здесь особого внимания заслуживают оружейный завод в Шателеро и пушечно-литейный завод в Рюелль и знаменитые бумаж-

ные фабрики в окрестностях Ангулема...я нашел здесь случай наблюдать действие турбин. ...я успел приобрести многие практические данные касательно устройства машин и наиболее выгодного употребления воды и пара как двигателей» [14].

Именно в этой командировке, сравнивая размеры составных частей в различных паровых машинах, П.Л. Чебышёв «нашел данные, необходимые для изысканий в теории параллелограмма Уатта». Все эти сведения ему необходимы были прежде всего для чтения лекций по практической механике. Особенно его интересовали шарнирно-рычажные механизмы, служащие для приближенного преобразования кругового движения в прямолинейное и наоборот. Большое значение он придавал личным контактам с учеными Франции, которые у него появились в ходе этой первой зарубежной командировки или продолжились более ранние знакомства. Чебышёв пишет в отчете 1852 г.: «... один из известнейших геометров Лиувилль изложил мне начала новой теории эллиптических функций» [14].

В историко-научных исследованиях зарубежных ученых изучались вопросы личных контактов Чебышёва со многими наиболее известными европейскими учеными того времени. В частности, отмечены очень ранние контакты Чебышёва с французским математиком Жозефом Лиувиллем (1809-1882), личное знакомство их началось в 1842 г. и длилось очень долго. Жозеф Лиувилль известен своими работами по анализу, дифференциальной геометрии, теории чисел, а также был учредителем и влиятельным редактором журнала «Математические методы и приложения», известного как «Журнал Лиувилля». В своем отчете за 1852 г., две страницы которого посвящены его контактам с Ж. Лиувиллем, П.Л. Чебышёв упоминает, что он «сотрудничал с журналом [Лиувилля] с 1842 года», что подтверждается тем фактом, что его первая опубликованная статья «Заметка об одном классе кратных определенных интегралов» появилась в этом журнале в 1843 г. Рукопись могла попасть к Лиувиллю либо по почте с пояснительным письмом, либо с посыльным; третья возможность заключается в том, что Чебышёв передал ее Лиувиллю собственной персоной. Кроме Ж. Лиувилля П.Л. Чебышёв встречался в 1852 г. с членами Парижской академии наук: математиком и механиком О. Коши, физиком и механиком, широко известным как создатель маятника Фуко и изобретатель гироскопа, Ж.Б.Л. Фуко, с французским математиком, известным своими работами в области дифференциальной геометрии, Ж.-А. Серре, а также с признанным лидером математиков Франции Шарлем Эрмитом. В Англии у Чебышёва были встречи с известным английским математиком, основателем Американского математического общества Дж.Дж. Сильвестром. Все эти контакты и беседы оказали определенное влияние на развитие и самого Чебышёва, до конца своей жизни он вел со многими научную переписку. Вторая заграничная командировка состоялась в 1856 г. В этой командировке Артиллерийское отделение Военно-ученого комитета поручило Чебышёву «ознакомится со взглядами иностранных ученых-артиллеристов того времени о применении математического анализа к наиболее сложным артиллерийским вопросам». С 1855 по 1867 г. П.Л. Чебышёв состоял действительным членом сначала артиллерийского отделения Военно-ученого комитета, а затем временного Артиллерийского комитета.

С 1867 г. он был назначен совещательным членом Технического комитета Главного артиллерийского отделения и эту должность не оставлял до конца жизни. Подробное исследование этой деятельности П.Л. Чебышёва выполнено его биографом В.Е. Прудниковым [17].

Конструирование машин и механизмов. Вовлеченность П.Л. Чебышёва в

техническую проблематику с особой отчетливостью выступает в его отчетах о командировке во Францию, Великобританию и Германию в июле-ноябре 1852 г., в которых его рассказ о вопросах математики органично соединяется с обсуждением технических проблем, с тщательным описанием увиденного на металлургических заводах, мельницах, в лабораториях и технических музеях. «Из многих предметов исследования, которые представились мне при рассмотрении, и сличения между собой различных механизмов передачи движения, особенно в паровой машине, где и экономия в топливе и прочность машины много зависят от способов передачи работы пара, я, – пишет он в этом отчете, – особенно занялся теорий механизмов, известных под названием параллелограммов». Результатом этих занятий и стал его знаменитый труд «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов» [18].

Эта работа Чебышёва была посвящена теории особого рода механизмов, параллелограммов, назначение которых состояло в передаче движения с поршня на вал в паровых машинах, позволяющих возвратно-поступательное движение преобразовывать во вращательное. П.Л. Чебышёв пишет: «Механизмы, известные под именем параллелограммов могут быть рассматриваемы как системы прямых линий, двигающихся в одной плоскости и связанных между собой шарнирами, которые препятствуют точкам соединения линий скользить по ним, но не мешают изменяться углам, составленным этими линиями» [18].

Шарнирные механизмы для воспроизведения движения по прямой линии применялись в некоторых конструкциях паровых машин и связаны с изобретением Дж. Уатта (рис. 5). Идея, запатентованная Уаттом в 1784 г., заключалась в следующем. Представим два стержня AB и CA, лежащие в одной плоскости и вращающиеся вокруг осей проходящих через точки C и B. При таком врашении A и \mathcal{I} будут описывать дуги, обращенные выпуклостями друг к другу. Если соединить их свободным стержнем, то на этом стержне $A \mathcal{I}$ будет некоторая точка E, которая при этом движении будет двигаться по прямой. Если считать, что CII – плечо балансира машины, а AB – вспомогательный рычаг, «регулирующий радиус», как его называл Уатт, то можно конец штока поршня присоединить на шарнире в этой точке E, и в то время как конец балансира будет описывать дугу, шток поршня будет двигаться прямолинейно. Это был так называемый «неполный параллелограмм» или, как назвал его впоследствии Уатт, трехрычажное движение. Параллелограмм Уатта должен был преобразовывать прямолинейное возвратно-поступательное движение штока (жестко связанного с поршнем паровой машины) в качательное движение конца балансира (рис. 6). Известно, что Дж. Уатт подбирал размеры звеньев эмпирически. Он прикреплял карандаш к концу штока и приставлял доску с бумагой так, чтобы на ней наносился след карандаша – траектория этой точки штока (этот прибор был построен в 1790 г. и называется индикатор Уатта) [19].

Уатт менял размеры звеньев, добиваясь того, чтобы линия, очерченная карандашом, как можно ближе приблизилась к прямой. Вплоть до середины XIX в. неизбежные неточности подобных механизмов приводили к росту потерь на трение и быстрому изнашиванию звеньев. Также, как когда-то Уатт, Чебышёв установил на конце штока карандаш и подложил доску с бумагой. Когда машину остановили и сняли доску с бумагой, то увидели, что карандаш начертил прямую линию. Этот опыт подтвердил теорию ученого.

Чебышев поставил задачу целенаправленного нахождения параметров искомого механизма с тем, чтобы на некотором заданном отрезке максимальное отклонение траектории рабочей точки механизма от ее касательной в средней точке наименее отклонялось от нуля по сравнению с другими ана-

логичными траекториями. Изучение и конструирование параллелограммов привело его к математической проблематике теории наилучшего приближения функций многочленами.

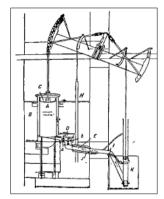


Рис. 5. Чертеж одной из первых машин Дж. Уатта (1776 г.). Репродукция собственноручного чертежа Уатта

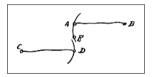


Рис. 6. Рисунок диаграммы Уатта (письмо к сыну 1808 г.)

Этой работой, с одной стороны, Чебышёв заложил фундамент теории синтеза механизмов, став таким образом ее основоположником, с другой, положил начало циклу исследований по общей теории функций, наименее уклоняющихся от нуля. Далее последовала статья «Вопросы о наименьших величинах, связанные с приближенным обращением функций», доложенная физико-математическому отделению Академии наук в 1857 г., а завершился цикл статьей «О полиномах, наилучше представляющих значения простейших дробных функций при величинах переменной, заключающихся между двумя заданными пределами», которую академик П.Л. Чебышёв также доложил на заседании физико-математического отделения Академии наук в декабре 1892 г.

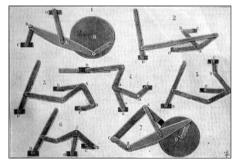


Рис. 7. Семь образцов систем коленчатых рычагов П.Л. Чебышёва, находящихся в Парижской консерватории искусств и ремесел

Семь систем коленчатых рычагов, которые Чебышёв отправлял на Всемирную выставку в Чикаго в 1893 г., изображены на *рисунке 7*. Ученый не только описал свои механизмы в серии статей с большим вниманием к практическим деталям, но и сконструировал их, иногда сам, иногда с помощью

лучших мастеров, которых он мог найти в России или за рубежом.

Чебышёв стал также основоположником теории структуры плоских механизмов. В 1869 г. в статье «О параллелограммах (посвящается Императорскому техническому училищу)» он для рычажных механизмов с вращательными кинематическими парами и одной степенью свободы вывел структурную формулу, сегодня известную как «формула Чебышёва». Эта формула имеет следующий вид:

$$3m - 2(n+V)=1$$

где m — число подвижных звеньев; n, V — числа соответственно подвижных и неподвижных шарниров.

В основе всех изобретений Чебышёва лежит стремление к минимизации затрат труда и времени для любой работы. Среди известных моделей механизмов Чебышёва — механизм самокатного кресла (инвалидной коляски), механизм велосипеда, «переступающий» механизм или «стопоходящая машина», имитирующая движение животного при ходьбе, гребной механизм, центробежный регулятор, арифмометр. Исследования научного творчества Чебышёва указывают на ценность его оригинальных механизмов не в самих результатах проектирования, а в предложенных им методах для отыскания оптимальных параметров каждого механизма и их сочетаний. Эти методы являются наиболее общими и с их помощью решаются задачи проектирования любых современных механических устройств и приборов.

В конструкциях ряда механизмов, предложенных Чебышёвым, нашли свою реализацию разработанные им методы синтеза механизмов. Заслуживают упоминания два приближенно-направляющих механизма Чебышева, относящихся к классу шарнирных четырехзвенников и известных под названием лямбдаобразного и перекрестного.

Выводы. Теория механизмов как самостоятельная отрасль науки возникла на рубеже XVIII и XIX вв. Сначала она была наукой описательной, и лишь после работ П.Л. Чебышёва в нее начинают проникать математические методы — элементы анализа, аналитическая, начертательная и проективная геометрия. В 1853 г. П.Л. Чебышёв выполнил глубокий анализ свойств параллелограмма Уатта и разработал математическую теорию приближения функций полиномами, наименее уклоняющимися от нуля, для оптимизации задачи построения подобных механизмов. В последующих своих работах он разработал образцы применения созданных им методов приближенного синтеза механизмов. П.Л. Чебышёв внес выдающийся вклад в развитие практической механики в России, заложил основы теории синтеза механизмов, стал основоположником теории структуры плоских механизмов.

Библиографический список

- 1. Тюлина И.А., Чиненова В.Н. История механики сквозь призму развития идей, принципов и гипотез. М.: URSS. 2017. 256 с.
- 2. Артоболевский И.И., Левитский Н.И. П.Л. Чебышёв создатель теории синтеза механизмов // Наука и жизнь. 1972. N1. C.77-81.
 - 3. Юшкевич А.П. История математики в России до 1917 года. М.: Наука. 1968. 592 с.
 - 4. Боголюбов А.Н. История механики машин. Киев: Наукова думка. 1964. 460 с.
- 5. Боголюбов А.Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М: Наука. 1976. 467 с.
- 6. Токаренко А.М. Развитие теории механизмов для воспроизведения математических зависимостей: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Харьков. 1983.
 - 7. Butzer P.L. P.L.Chebyshev (1821-1894). A guide to his life and work. Journal of

- approximation theory. 1999. Vol. 96. 11-138.
- 8. Butzer P.L., Jongmans F. P.L. Chebyshev (1821-1894) and his contacts with Western European scientists. Historia Mathematica. 1989. N16. 46-68.
 - 9. Davis P.J. The thread: A mathematical yarn. Basel-Boston: Birkhauser. 1983. 124.
 - 10. Механизмы П.Л. Чебышёва // Юный техник. 1956. N4. C. 15.
- 11. Бооль В.Г. Арифмометр Чебышёва// Вестник опытной физики и элементарной математики.1895. N205. C. 5-10; N207. C. 52-56; N210. C. 134-141.
- 12. Тихонов А.А. Пафнутий Львович Чебышёв: человек науки на службе России (К 200-летию со дня рождения) // Чебышевский сборник. 2021. N3(79). С. 405-422.
- 13. Демидов С.С. П.Л. Чебышёв ученый, учитель и деятель науки // Чебышевский сборник. 2021. Т. 22. Вып. 3. С. 6-19.
- 14. Чебышёв П.Л. Полное собрание сочинений П.Л. Чебышёва. В 5 т. М.-Л.: Издательство АН СССР. 1944-1951.
- 15. Стеклов ВА. Теория и практика в исследованиях Чебышёва// Успехи математических наук. 1946. Т. 1. Вып. 2(12). С. 4-11.
 - 16. Отрадных Ф.П. Жизнь и творчество П.Л. Чебышёва. М.: Советская наука. 1953. 36 с.
 - 17. Прудников В.Е. Пафнутий Львович Чебышёв (1821-1894). Л.: Наука. 1978. 282 с.
 - 18. Чебышёв П.Л. Избранные труды. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1955. С. 611-648.
 - 19. Лесников М.П. Джемс Уатт. М.: Журнально-газетное объединение. 1935. 270 с.

References

- 1. Tyulina I.A., Chinenova V.N. Istoriya mekhaniki skvoz' prizmu razvitiya idey, printsipov i gipotez [The history of mechanics through the prism of the development of ideas, principles and hypotheses]. Moscow: URSS. 2017. 256 (In Russian).
- 2. Artobolevskiy I.I., Levitskiy N.I. P.L. Chebyshev sozdatel'teorii sinteza mekhanizmov [Chebyshev is the creator of the theory of synthesis of mechanisms]. Nauka i zhizn'. 1972. N1. 77-81 (In Russian).
- 3. Yushkevich A.P. Istoriya matematiki v Rossii do 1917 goda [History of Mathematics in Russia before 1917]. Moscow: Nauka. 1968. 592 (In Russian).
- 4. Bogolyubov A.N. Istoriya mekhaniki mashin [History of machine mechanics]. Kiyev: Naukova dumka. 1964. 460 (In Russian).
- 5. Bogolyubov A.N. Teoriya mekhanizmov i mashin v istoricheskom razvitii eye idey [The theory of mechanisms and machines in the historical development of its ideas]. Moscow: Nauka. 1976. 467 (In Russian).
- 6. Tokarenko A.M. Razvitiye teorii mekhanizmov dlya vosproizvedeniya matematicheskikh zavisimostey: avtoref. dis. ... kand. tekh. nauk [Development of the theory of mechanisms for reproducing mathematical dependencies: Ph.D.(Eng.) thesis]. Khar'kov. 1983 (In Russian).
- 7. Butzer P.L. P.L.Chebyshev (1821-1894). A guide to his life and work. Journal of approximation theory. 1999. Vol. 96. 11-138.
- 8. Butzer P.L., Jongmans F. P.L. Chebyshev (1821-1894) and his contacts with Western European scientists. Historia Mathematica. 1989. N16. 46-68.
- 9. Davis P.J. The thread: A mathematical yarn. Basel-Boston: Birkhauser. 1983. 124.
- 10. Mekhanizmy P.L. Chebysheva [Mechanisms of P.L. Chebyshev]. Yunyy tekhnik. 1956. N4. 15.
- 11. Bool' V.G. Arifmometr Chebysheva [Chebyshev arithmometer]. Vestnik opytnoy fiziki i elementarnoy matematiki. 1895. N205. 5-10; N207.52-56; N210. 134-141 (In Russian).
- 12. Tikhonov A.A. Pafnutiy L'vovich Chebyshev: chelovek nauki na sluzhbe Rossii (K 200-letiyu so dnya rozhdeniya) [Paphnutiy Lvovich Chebyshev: a man of science in the service of Russia (On the 200th anniversary of his birth)]. Chebyshevskiy sbornik. 2021. N3(79). 405-422 (In Russian).
- 13. Demidov S.S. P.L. Chebyshev uchenyy, uchitel' i deyatel' nauki [P.L. Chebyshev scientist, teacher and scientist]. Chebyshevskiy sbornik. 2021. Vol. 22. Iss. 3. 6-19 (In Russian).

- 14. Chebyshev P.L. Polnoye sobraniye sochineniy P.L. Chebysheva. V 5 t [The complete works of P.L. Chebyshev. In 5 vols.]. Moscow-Leningrad: Izdatel'stvo AN SSSR. 1944-1951 (In Russian).
- 15. Steklov VA. Teoriya i praktika v issledovaniyakh Chebysheva [Theory and practice in Chebyshev's research]. Uspekhi matematicheskikh nauk. 1946. Vol. 1. Iss. 2(12). 4-11 (In Russian).
- 16. Otradnykh F.P. Zhizn' i tvorchestvo P.L. Chebysheva [The life and work of P.L. Chebyshev]. Moscow: Sovetskaya nauka. 1953. 36 (In Russian).
- 17. Prudnikov V.E. Pafnutiy L'vovich Chebyshev (1821-1894) [Paphnutiy Lvovich Chebyshev (1821-1894)]. Leningrad: Nauka. 1978. 282 (In Russian).
- 18. Chebyshev P.L. Izbrannyye trudy [Selected works]. Moscow: Izd-vo Akademii nauk SSSR. 1955. 611-648 (In Russian).
- 19. Lesnikov M.P. Dzhems Uatt [James Watt]. Moscow: Zhurnal'no-gazetnoye ob"yedineniye. 1935. 270 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Смык $A.\Phi$. — разработка цели и задач исследования, научное руководство, анализ и доработка текста;

Артамонов А.А. – подготовка текста, анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Smyk A.F. – development of the purpose and objectives of the study, scientific guidance, analysis and revision of the manuscript; Artamonov A.A. – writing the manuscript, data analysis. All the authors have read and approved the final manuscript.

ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫМИ УГОДЬЯМИ (ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ)

Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук, главный научный сотрудник; Анастасия Владимировна Миронова, научный сотрудник Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Производство продукции растениеводства зависит от состояния и уровня использования сельскохозяйственных угодий. (Цель исследования) Выявить общие тенденции изменения посевных площадей с 1920 по 2020 год. (Материалы и методы) Выделили три исторических периода развития землепользования почвенными угодьями. Охарактеризовали реформы становления и развития сельского хозяйства России (Результаты и обсуждение) Провели ретроспективный анализ динамики посевных площадей сельскохозяйственных культур трех временных исторических периодов. Установили, что в І историческом периоде (1920-1941 годы) в результате проведения коллективизации и индустриализации сельского хозяйства произошло увеличение площади сельскохозяйственных угодий с 113,0 до 150,4 миллионов гектаров. Выявили, что во ІІ историческом периоде (1945-1990 годы) освоение целинных и залежных земель увеличило площадь сельскохозяйственных угодий на 56,7 миллионов гектаров и в 1960 году составило 203 миллионов гектаров. Пиковые значения увеличения наблюдались в 1985 году – 210,3 миллионов гектаров. Отметили, что в III историческом периоде (1991-2021 годы) происходит системное сокращение парка тракторов, которое привело к выбытию сельскохозяйственных угодий. Если в 1990 году посевные площади составляли 117,7 миллионов гектаров, то в 2020 году данный показатель снизился на 37,8 и составил 79,9 миллионов гектаров. (Выводы) Установили, что без земельных ресурсов невозможен процесс воспроизводства в сельском хозяйстве. Из утраченных 32,68 миллионов гектаров земельных угодий, восстановить и вернуть в активное сельскохозяйственное использование в первую очередь необходимо наиболее ценные для сельского хозяйства угодья – пашню, пастбища и сенокосы.

Ключевые слова: сельскохозяйственные угодья, посевные площади, исторический период, эволюционные факторы становления и развития сельского хозяйства, коллективизация, освоение целины.

Для цитирования: Ценч Ю.С., Миронова А.В. Эволюция развития землепользования почвенными угодьями (отечественный и зарубежный опыт) // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 176-186. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-176-186. KGBCEO.

EVOLUTION OF THE SOIL LAND USE (DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE)

Yuliya S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), chief researcher; Anastasiya V. Mironova, researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The production of crop production depends on the condition and level of use of agricultural land. (Research purpose) The research purpose is identifying general trends in the change of acreage from 1920 to 2020. (Materials and methods) We have identified three historical periods of the development of land use by soil lands. Characterized the reforms of the formation and development of agriculture in Russia (Results and discussion) A retrospective analysis of the dynamics of the acreage of agricultural crops of three time historical periods was carried out. It was established that in the first historical period (1920-1941), as a result of collectivization and industrialization of agriculture, the area of agricultural land increased from 113.0 to 150.4 million hectares. It was revealed that in the II historical period (1945-1990). the development of virgin and fallow lands increased the area of agricultural land by 56.7 million hectares and in 1960 amounted to 203 million hectares. The peak values of the increase were observed in 1985 – 210.3 million hectares. It was noted that in the III historical period (1991-2021) there is a systematic reduction of the tractor fleet, which led to the disposal of agricultural land. If in 1990 the acreage was 117.7 million hectares, then in 2020 this indicator decreased by 37.8 million hectares and amounted to 79.9. (Conclusions) It was established that the reproduction process in agriculture is impossible without land resources. Of the lost 32.68 million hectares of land, it is necessary to restore and return to active agricultural use, first of all, the most valuable lands for agriculture – arable land, pastures and hayfields.

Keywords: agricultural lands, acreage, historical period, evolutionary factors of formation and development of agriculture, collectivization, development of virgin lands.

For citation: Tsench Yu.S., Mironova A.V. Evolyutsiya razvitiya zemlepol'zovaniya pochvennymi ugod'yami (otechestvennyy i zarubezhnyy opyt) [Evolution of the soil land use (domestic and foreign experience)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2023. Vol. 61. N1(150). 176-186 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-176-186. KGBCEO.

Введение. Основы аграрной науки, формулировка основных идей в почвоведении, агрономии, почвозащитном земледелии, восстановлении сельскохозяйственных угодий были заложены выдающимися учеными, такими как основоположник научного почвоведения и географии почв В.В. Докучаев; автор первого в мире учебника по почвоведению Н.М. Сибирцев; российский и советский минералог, геолог, географ, почвовед К.Д. Глинка; основатель агрономического почвоведения П.А. Костычев; автор известной книги «Организация сельского хозяйства» А.С. Ермолов; русский и советский почвовед-агроном В.Р. Вильямс; основоположник советской научной школы в агрономической химии, агрохимик минеральных удобрений Д.Н. Прянишников; основатель русской научной школы физиологов растений К.А. Тимирязев; основоположник теории сельскохозяйственных машин В.П. Горячкин; российский ученый, специалист в области агрохимии А.Л. Иванов.

Положение сельского хозяйства России после Первой мировой войны, Февральской и Октябрьской революций 1917 г., гражданской войны было тяжелым. Возникла острая необходимость в изготовлении техники для сельского хозяйства, которое обеспечивало страну продовольствием [1].

Цель исследования — выявить общие тенденции изменения посевных площадей с 1920 по 2020 год. Производство продукции растениеводства зависит от уровня использования сельскохозяйственных угодий (*puc. 1*). Ретроспективный анализ динамики посевных площадей сельскохозяйственных культур выпол-

нили с помощью дифференциации трех временных исторических периодов.

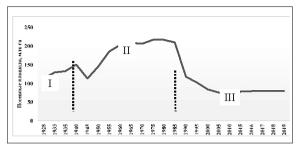


Рис. 1. Динамика посевных площадей России с 1928 по 2020 г.

Материалы и методы. Для нашего исследования использованы три временных периода: І период — 1920-1941 гг., ІІ период — 1945-1990 гг., ІІІ период — 1991-2021 гг. Выделение временных исторических периодов формирования научной агроинженерной платформы для создания отечественных систем сельскохозяйственных машин, обеспечивающих продовольственную безопасность страны, позволяет выявить общие эволюционные факторы становления и развития сельского хозяйства России.

Первый период с 1920 по 1941 г. характеризуется созданием программ коллективизации и индустриализации сельского хозяйства, восстановлением разрушенного хозяйства, становлением плановой экономики, формированием крупного социалистического производства [2].

Второй период 1945-1991 гг. включает в себя послевоенное восстановление народного хозяйства СССР, развитие всех социально-экономических сфер страны, укрупнение колхозов и совхозов, создание эффективного комплексного аграрного производства, комплексную механизация сельского хозяйства.

Третий период 1991-2021 гг. характеризуется изменением системы государственного управления, становлением новых социально-экономических отношений, рыночной экономики, приватизацией предприятий сельскохозяйственного машиностроения.

Результаты и обсуждение. Для восстановления сельского хозяйства требовалась поддержка со стороны государства. Декрет ВЦИК «К крестьянству РСФСР», представленный 14 марта 1921 г. на X съезде РКП(б), провозгласил начало новой экономической политики, которая заключалась в замене продразверстки продналогом. По сравнению с продразверсткой, когда изымали 70% зерна, размер налога снизился в половину и составил 30%. Согласно декрету свобода торговли остающейся у крестьян после уплаты налога продукцией ограничивалась «пределами местного хозяйственного оборота» [2].

Анализ данных статистических ежегодников показывает, что если в 1920 г. посевные площади составляли 41, 4 млн га, то к 1924 г. прослеживается заметный рост посевных площадей на 13,2 млн га и данный показатель составил 54,6 млн га. В 1925 г. посевная площадь достигла довоенного уровня — 104,3 млн га [3].

Поголовье крупного рогатого скота также возросло в 1925 г. на 16,3 млн голов и составило 62,1 млн голов по сравнению с 1922 г., когда численность КРС была на уровне 45,8 млн голов. 13 млн крестьянских хозяйств стали членами сельско-хозяйственной кооперации. В стране функционировало около 22 тыс. колхозов. Индустриализация общества требовала перестройки аграрного сектора. Поэтому деревня рассматривалась не только как источник продовольствия, но и как важнейший канал пополнения финансовых ресурсов для нужд индустриализации. У крестьян появился стимул для работы и увеличился земельный надел.

Итогами введения новой экономической политики стали восстановле-

ние разрушенного хозяйства страны, создание прочной материально-технической базы и социально-культурной сферы. К 1927 г. показатели сельского хозяйства страны достигли уровня довоенного: использовалось 97% посевных площадей, поголовье скота составило 100%. Быстроразвивающийся процесс урбанизации сформировал большую потребность в хлебе, а низкая товарность зернового хозяйства, неурожай зерновых культур в ряде регионов СССР в 1927 г. привели к событиям, именуемым «хлебной стачкой».

На XV съезде ВКП(б) в декабре 1927 г. объявили о начале коллективизации и индустриализации сельского хозяйства. Коллективизация подразумевала объединение мелких индивидуальных хозяйств в крупные колхозы и совхозы для увеличения продуктивности сельского хозяйства. Сельское хозяйство служит основой экономики, поэтому государство решило получить максимум средств именно из этого источника, чтобы преодолеть разрыв в экономическом развитии. Одновременно с процессом коллективизации началась индустриализация, которая заключалась в переходе рабочей силы и распределении ресурсов из аграрного сектора в индустриальный.

Среди основных целей коллективизации и индустриализации можно выделить следующие:

- социалистические преобразования в деревнях и селах;
- массовая механизация и электрификация сельского труда, которая дала возможность направлять высвободившуюся рабочую силу на заводы и фабрики;
- бесперебойное снабжение населения бурно развивающихся городов продовольствием. Высокие темпы экономического роста и набравшая высокий темп урбанизация требовали существенного увеличения поставок зерна, мяса, молока и других продуктов в кратчайшие сроки;
- наращивание экспортных поставок зерна для обеспечения притока средств, на которые закупалось оборудование для новых предприятий;
 - установление государственного контроля над сдачей и производством хлеба [4].

В ходе коллективизации государство рассчитывало на повышение производительности труда и получение стабильного объема урожая. Это позволило в дальнейшем увеличить экспорт зерна и полученную прибыль направлять на развитие промышленности. К 1932 г. в стране было создано около 200 тыс. колхозов, объединивших более 60% крестьянских хозяйств. Совместно с формированием колхозов организовывались машинно-тракторные станции (МТС) для обеспечения колхозов новой техникой. Созданные колхозы в ходе первых пятилеток были небольшие и имели около 150 га посевной площади. Их границы постоянно менялись, что затрудняло рациональную организацию сельскохозяйственного производства. В этот период колхозы испытывали недостаток в квалифицированных специалистах в области сельского хозяйства, животноводства. Сельскому хозяйству остро требовались агрономы, инженеры-механизаторы, ветеринары, зоотехники. Для выполнения поставленных задач необходимо было создать институты по механизации и электрификации сельского хозяйства. Таким образом, в июле 1928 г. на Пленуме ЦК ВКП(б) было принято Постановление «Об улучшении подготовки новых специалистов (ВТУЗа)» [1, 5].

За годы второй пятилетки коллективизация в деревне была завершена (93% всех единоличных крестьянских хозяйств объединено в колхозы). Решилась проблема обеспечения городов продовольствием, увеличились поставки техники в деревню. К 1928 г. только 1% пашни обрабатывался тракторами, в 1932 г. – 23%, а к концу второй пятилетки – уже примерно 60%. Колхозы достигли рационального землепользования в годы второй пятилетки. В феврале 1935 г. на Втором съезде колхозников был принят Примерный устав сельскохозяйственной артели. Из устава следовало, что колхозы получили от государства

землю в вечное и бесплатное пользование. Колхозникам разрешалось иметь личное подсобное хозяйство размером от 0,25 до 0,5 га; были также обозначены контуры животноводческого хозяйства колхозников [2, 6].

К концу второй пятилетки 242,5 тысяч колхозов превратились в многоотраслевые предприятия. Обработка полей под посев зерновых культур совмещалась с разведением скота и птицы, пчеловодством, садоводством и огородничеством. Из представленного на рисунке 1 графика в І периоде можно проследить тенденцию к увеличению посевных площадей по всем категориям хозяйств. В 1940 г. данный показатель достиг 150,0 млн га против 113,0 в 1928 г., увеличившись на 41 млн га. Большая часть посевных площадей в 1940 г. была занята под зерновыми культурами – 110,5 млн га, техническими – 11,8, картофелем и овощами – 10,0, кормовыми – 18,1 млн га. В годы Великой Отечественной войны самый особенно тяжело пришлось сельскому хозяйству страны. Рабочие совхозов и колхозов уходили на фронт, имущество и сельскохозяйственная техника существенно износились и подверглись разграблению. Промышленность не могла в необходимом количестве снабжать сельскохозяйственную технику запасными частями и горюче-смазочными материалами. В сельском хозяйстве образовался дефицит рабочей силы, в результате оккупации и сожжения деревень погибли миллионы сельских жителей.

В послевоенные годы развитие экономики СССР происходило в соответствии с Законом о Пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946-1950 гг., принятого Верховным Советом СССР 18 марта 1946 г. Результатом выполнения пятилетнего плана должно было стать полное восстановление основных показателей сельского хозяйства: валового сбора зерна, уровня механизации, увеличения поголовья скота. Первые пять послевоенных лет ушли на восстановление сельского хозяйства. Село получало минимум сельскохозяйственной техники. Начиная с 1945 г. увеличивается посевная площадь сельскохозяйственных культур на 32,5 и к 1950 г. составляет 146,3 млн га. В 1950 г. сборы зерновых культур достигли 121 млн тонн в сравнении с 1945 годом — 85,3 млн тонн [7].

В феврале 1947 г. Пленум ЦК ВКП(б) принял Постановление «О мерах подъема сельского хозяйства в послевоенный период». Главная задача развития сельского хозяйства заключалась в наращивании производства сельскохозяйственной техники, развитии вспомогательных отраслей и инфраструктуры сельскохозяйственных территорий, расширении колхозов и совхозов, проведении коллективизации в областях Западной Украины, Западной Белоруссии, Прибалтики. На пленумах ЦК КПСС 1953 и 1954 гг. были предложены мероприятия, направленные на преодоление зернового кризиса в стране. Пленум 1953 г. рассмотрел вопрос «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства СССР». Решение пленума предусматривало уменьшение сельскохозяйственного налога в 2,5 раза, списание недоимок по сельскохозяйственному налогу предыдущих лет, увеличение размеров приусадебных участков колхозников, повышение заготовительных цен на сельскохозяйственную продукцию, расширение возможностей для развития колхозного рынка. Около 20 тыс. партийных работников среднего звена были направлены на село для укрепления руководства отсталых хозяйств. Данное решение пленума имело положительные результаты: рост производительности труда в сельском хозяйстве (в 1955 г. она выросла на 38% по сравнению с 1940 г.), также возросла материальная заинтересованность колхозников, повышалась урожайность [8].

2 марта 1954 г. пленум ЦК КПСС принял постановление «О дальнейшем увеличении производства зерна в стране и об освоении целинных и залежных земель». Госпланом СССР было намечено распахать в Казахстане, Сибири, Повол-

жье, на Урале и в других районах страны не менее 43 млн га целинных и залежных земель. Пленум ЦК провозгласил курс на освоение целины как главный в сельском хозяйстве, указав, что распашка новых земель может дать 14-15 ц зерна с га, а в передовых хозяйствах — даже 20-25 ц с га. На первые два года была поставлена задача распахать 13 млн га, причем в 1954 г. увеличить посевные площади пшеницы и проса на целине на 2,3 млн га, из них в колхозах — 1,8 млн га и в совхозах — 0,5 млн га, а в 1955-м — сразу на 10,7 млн га. 27 марта 1954 г. было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об увеличении производства зерна в 1954-1955 гг. за счет освоения целинных и залежных земель» [8].

Освоение целинных и залежных земель началось прежде всего с создания совхозов. Работы по освоению данных земель начались без предварительной подготовки со слабо развитой инфраструктурой и без квалифицированного персонала. Не учитывались природно-климатические условия степных районов, в которых были распространены песчаные бури и суховеи. Для данных районов необходимо было разработать адаптированные технологии и способы обработки почвы. В целях вовлечения в сельскохозяйственный оборот залежных земель поставлялось большое количество производимых в стране тракторов и комбайнов: только в 1954 г. — 120 тыс. из 137 тыс. произведенных тракторов общего назначения и около 10 тыс. из 37 тысяч комбайнов, а также — соответствующее навесное оборудование: плуги, сеялки, дисковые бороны, культиваторы. На выполнение программы было брошено более 100 тысяч автомашин [9].

В период с 1954 по 1960 г. было распахано 41,8 млн га целинных и залежных земель. В первые годы освоения было создано 425 зерновых совхозов.

Следствием увеличения площади сельскохозяйственных угодий стало повышение урожайности сельскохозяйственных культур. По данным статистического сборника, урожайность зерновых культур в 1954 г. составила 85,6 млн т (в том числе на целине – 27,1), к 1960 г. произошло увеличение по данному показателю на 39,9 млн т и составило 125,5 млн т (в том числе на целине – 58,7). Стабильность получения урожая не была достигнута в 1962-1963 гг. в результате нарушения экологического состояния почв, эрозии и наступления пыльных бурь. Потери урожая в 1963 г. относительно 1960 г. составили 18 млн т, значение показателя сократилось до 107,5 млн т. Началась стадия кризиса, при вовлечении в сельскохозяйственных оборот целинных и залежных земель эффективность возделывания снизилась на 65%.

Освоение целины в степных и лесостепных районах дало негативные результаты. Десятки миллионов гектаров пастбищ и сенокосов были уничтожены. Распашка целины в водоохранных зонах привела к эрозии почвы на склонах. В декабре 1958 г. состоялся Пленум ЦК КПСС «О мероприятиях по подъему зернового хозяйства», на котором Н.С. Хрущев подчеркнул, что в первую очередь необходимо вовлекать в сельскохозяйственный оборот целинные и залежные земли Сибири, Казахстана и юго-востока страны. Также необходимо увеличивать посевы зерновых культур и повышать их урожайность. Данные утверждения легли в основу разработки дополнительных планов для освоения целинных земель в различных областях [10].

Из представленного графика на рисунке 1 во II периоде можно проследить тенденцию снижения показателя посевных площадей до 113,8 млн га, который затем начинает увеличиваться и к 1950 г. составляет 146,3 млн га. В результате освоения целинных и залежных земель в 1960 г. данный показатель повысился относительно 1950 г. на 56,7 и составил 203,0 млн га. В результате внедрения сельскохозяйственной техники, увеличения численности квалифицированных специалистов осуществили значительный прирост производства основной продукции сельского хозяйства. Повысились урожай-

ность сельскохозяйственных культур и продуктивность сельскохозяйственных животных. Максимальный прирост можно отметить в 1975 г., данный показатель составил 217,7 млн га. После 1975 г. площадь посевных площадей идет на снижение и в 1985 г. составляет 210,3 млн га. На сокращение посевных площадей в мире влияют объективные и субъективные факторы. К объективным можно отнести общие процессы урбанизации, повышение эффективности сельскохозяйственного производства в целом, увеличение урожайности культур. Такой тип сокращения посевных площадей называется *US*-типом, который встречается в Канаде, США, западной Европе (*puc. 2*).

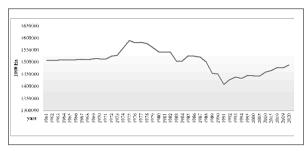


Рис. 2. US-тип сокращения сельскохозяйственных угодий в мире

В крупнейших странах мира процесс сокращения сельскохозяйственных угодий идет плавными темпами, нет резко выраженных скачков. За период с 1960 по 2019 г. данный показатель снизился на 5% и составил 135 млн гектаров. На процесс снижения сельскохозяйственных угодий оказали влияние следующие факторы: применение в сельскохозяйственном производстве экологически безопасных машинных технологий, автоматизированной, роботизированной техники и цифровых систем; рост урожайности сельскохозяйственных культур, повышение уровня производства высококачественной сельскохозяйственной продукции; урбанизация городов и уменьшение численности людей на селе. Значительное влияние на сельское хозяйство России оказал распад Советского Союза и переход от государственной командно-административной экономики к рыночной. Утраченные гарантированные рынки сбыта сельскохозяйственной продукции, незаконченные агарные реформы, снижение производственных субсидий, резкое снижение поголовья скота в животноводческом секторе привели в 90-х годах к резкому сокращению и деградации сельскохозяйственных угодий (рис. 3).

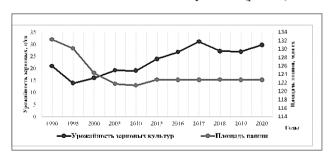


Рис. 3. Сокращение сельскохозяйственных угодий в России

В период 1991-2000 гг. площадь неиспользуемых почвенных массивов, преимущественно в малоперспективных районах с агроэкологической и социально-экономической точки зрения составляла около 31% или 57 млн га. После 2000 г. выведение продуктивных земель из сельскохозяйственного оборота продолжалось в Нечерноземье и в засушливых степных районах.

Значительное сокращение посевных площадей в России связано с недостатком сельскохозяйственной техники, ее старением и износом, диспаритетом цен на топливо и сельскохозяйственную продукцию, нехваткой средств для внесения удобрений и мелиорантов, закупкой большого количества продовольствия за рубежом. Среди социально-экономических причин сокращения посевных площадей можно выделить следующие: урбанизация городов приводит к оттоку трудоспособного населения из сельской местности; исчезновение мелких деревень и хуторов, концентрация населения в более крупных сельских населенных пунктах; удаленность полей от мест проживания населения и, как следствие, увеличение расходов на доставку техники, транспортировку удобрений и полученных сельскохозяйственных продуктов; зарплата работников АПК не превышает 35% от средней заработной платы в промышленности; закрытие и распад сельскохозяйственных предприятий. Объективной причиной снижения площади пашни служит существенное увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. Взаимосвязь уменьшения площади сельскохозяйственных угодий и увеличения урожайности зерновых культур можно проследить на графике (рис. 4).



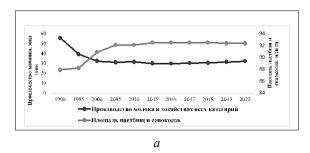
Рис. 4. Динамика снижения площади сельскохозяйственных угодий и роста производительности зерновых культур

Анализ данных на графике позволяет сделать вывод о том, что в период с 1990 по 2020 г. наблюдалось снижение площади пашни с 132,3 до 122,7 млн га, т. е. на 9,6 млн га. В результате распада Советского Союза произошло сокращение парка тракторов и, как следствие, снижение площадей обрабатываемой пашни, которая к 2010 г. достигла минимального значения — 121,4 млн га. В результате повышения автоматизации и роботизации производства сельскохозяйственной продукции, начиная с 2015 г., урожайность зерновых культур напротив увеличилась на 5,9 ц/га и в 2020 г. составила 29,8 ц/га.

По данным Росреестра, площадь сенокосов и пастбищ в период с 1990 по 2020 г. возросла с 87,9 до 92,4 млн га, прирост составил 4,5 млн га [11].

Анализ данных графиков на рисунках 5, а, б позволяет выявить тенденцию к увеличению продуктивности коров. Минимальные значения по производству (39,2 млн тонн) и удою молока (2153 кг) были зафиксированы в 1995 г. В результате стабилизации экономической ситуации в стране начиная с 2005 г. увеличивается производство молока на 0,4 млн тонн и удоя на одну корову на 2686 кг. В 2020 г. производство молока составило 32,2 млн тонн и удой на одну корову – 4839 кг. Также график показывает, что площадь пастбищ и сенокосов с 1990 г. по 2005 г. увеличилась на 4,2 млн га и в 2005 г. составила 92,1 млн га. Начиная с 2005 г. прирост по данному показателю был небольшой, всего лишь 0,9 млн га, но продуктивность коров в результате интенсификации производства продукции животноводства возросла почти в 2,5 раза. По экспертным оценкам, из утраченных 32,68 млн га земельных угодий, восстановить и вернуть в активное сельскохозяйственное использование возможно около 10-12 млн га, от 13-15 млн га – пробле-

матично, а 10-15 млн га для сельскохозяйственного производства утрачены и восстановление их экономически нецелесообразно (*puc. 6*).



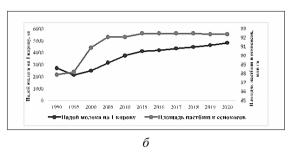


Рис. 5 Анализ взаимосвязи: a - nлощади пастбищ и производства молока в хозяйствах всех категорий; 6 - nлощади пастбищ и надоя молока на одну корову

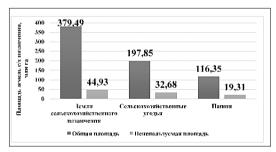


Рис. 6. Площадь используемых и неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в 2019 г.

Изменение в структуре мировых земельных ресурсов обусловлено борьбой двух противоположных процессов. Первый заключается в освоении больших территорий для производства сельскохозяйственных культур. К таким мероприятиям относят осушение, орошение, мелиорацию, распашку залежных земель. Второй процесс в мире идет более быстрыми темпами и заключается в выведении земель из сельскохозяйственного оборота и ухудшении их свойств. Среди экологических и социально-экономических причин можно выделить следующие: эрозии почв, заболачивание, засоление, закисление, малопродуктивность угодий, промышленная и транспортная застройка, урбанизация городов, отток трудоспособного населения из деревень, развитие военных объектов, разрушение инфраструктуры. Подсчитано, что ежегодные потери в результате эрозии почв составляют 6-7 млн га земель, а из-за заболачивания, засоления, выщелачивания — еще 1,5 млн га.

Необходимо в первую очередь возвратить в оборот наиболее ценные для сельского хозяйства угодья – пашню, пастбища и сенокосы.

Выводы. Проведенный ретроспективный анализ динамики посевных площадей трех исторических периодов показывает, что развитие землепользования почвенных угодий зависит от различных эволюционных факторов. При-

чинами спада или подъема сельскохозяйственного землепользования стали изменения политической и экономической ситуации в стране, уровня механизации. Повышение уровня механизации и электрификации сельского хозяйства позволило обеспечить продовольственную безопасность страны.

Библиографический список

- 1. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического потенциала механизации сельского хозяйства России: дис. ... д-ра техн. наук: 07.00.10. М. 2021. 412 с.
 - 2. Сельское хозяйство СССР. М.: Госстатиздат ЦСУ СССР. 1960. 666 с.
- 3. Социалистическое строительство СССР // Статистический ежегодник. М. 1936. С. 280.
- 4. Спицын Е.Ю. Хрущевская слякоть. Советская держава в 1953-1964 годах. М.: Концептуал. 2020. 592 с.
 - 5. Сельское хозяйство СССР. М.: Статистика. 1971.
- 6. Занданова Л.В. Основные этапы складывания советской переселенческой политики и формирования переселенческих органов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Политология. Религиоведение. 2007. N1. C. 27-45.
- 7. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. N2. C. 4-13.
- 8. СССР страна крупного социалистического сельскохозяйственного производства. М.: Статистика. 1967.
- 9. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ВИМ. 2021. 156 с.
- 10. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. N4. C. 4-12.
- 11. О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году // Государственный (национальный) доклад. М. 2021. 197 с.

References

- 1. Tsench Yu.S. Stanovleniye i razvitiye nauchno-tekhnicheskogo potentsiala mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 07.00.10 [Formation and development of scientific and technical potential of mechanization of agriculture in Russia: Dr. Sc. (Eng.) thesis: 07.00.10]. Moscow. 2021. 412 (In Russian).
- 2. Sel'skoye khozyaystvo SSSR [Agriculture of the USSR]. Moscow: Gosstatizdat TsSU SSSR. 1960. 666 (In Russian).
- 3. Sotsialisticheskoye stroitel'stvo SSSR [Socialist construction of the USSR]. Statisticheskiy ezhegodnik. Moscow. 1936. 280 (In Russian).
- 4. Spitsyn E.Yu. Khrushchevskaya slyakot'. Sovetskaya derzhava v 1953-1964 godakh [Khrushchev's slush. Soviet Power in 1953-1964]. Moscow: Kontseptual. 2020. 592 (In Russian).
- 5. Sel'skoye khozyaystvo SSSR [Agriculture of the USSR]. Moscow: Statistika. 1971 (In Russian).
- 6. Zandanova L.V. Osnovnyye etapy składyvaniya sovetskoy pereselencheskoy politiki i formirovaniya pereselencheskikh organov [The main stages of the Soviet resettlement policy and the formation of resettlement agencies]. Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politologiya. Religiovedeniye. 2007. N1. 27-45 (In Russian).
- 7. Tsench Yu.S. Nauchno-tekhnicheskiy potentsial kak glavnyy faktor razvitiya mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva [Scientific and technical potential as the main factor in the development of agricultural mechanization]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i

tekhnologii. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian).

- 8. SSSR strana krupnogo sotsialisticheskogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [The USSR as a country of large–scale socialist agricultural production]. Moscow: Statistika. 1967 (In Russian).
- 9. 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).
- 10. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Printsipy formirovaniya sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve [Principles of systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian).
- 11. O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu [State and use of land in the Russian Federation in 2020]. Gosudarstvennyy (natsional'nyy) doklad. Moscow. 2021. 197 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Ценч Ю.С. – постановка проблемы, научное руководство, разработка теоретических предпосылок эволюции развития землепользования почвенными угодьями; Миронова А.В. – ретроспективный анализ динамики посевных площадей, подведение итогов исследований, визуализация, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Tsench Yu.S. – problem statement, scientific guidance, development of theoretical prerequisites for the development of soil land use; Mironova A.V. – retrospective analysis of the acreage, summing up the results of research, visualization, revision of the manuscript, formation of general conclusions and literary analysis.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Развитие механизации сельского хозяйства Южного Урала: вклад научной школы Е.М. Харитончика

¹Елена Владимировна Годлевская, кандидат педагогических наук, заместитель директора по научно-методической работе, e-mail: elengodl@ya.ru;
²Юлия Сергеевна Ценч, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник

¹Челябинский государственный промышленно-гуманитарный техникум им. А.В. Яковлева, г. Челябинск, Российская Федерация ²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследован процесс становления и развития агроинженерных научных школ Южного Урала в взаимосвязи с развитием механизации сельского хозяйства и сельскохозяйственного машиностроения страны. (Цель исследования) Проанализировать направления работ научной школы Ефима Мироновича Харитончика и выявить ее роль в развитии процесса механизации сельского хозяйства региона. (Материалы и методы) Проанализировали трудовую деятельность Е.М. Харитончика, связанную с выпуском сельскохозяйственной техники на заводах страны. Показали, что первыми научными разработками были труды по созданию и совершенствованию приборов и испытательных машин, а также конструкций тракторных агрегатов и систем. (Результаты и обсуждение) Выявили, что большую известность получили следующие направления научной школы Харитончика: модификация и тракторных двигателей; разработки теории удельных параметров тракторов; оценки и оптимизации параметров тракторов и их агрегатов; исследование вибраций тракторных двигателей; создание гидростатических приводов активных прицепов для большегрузных автопоездов. (Выводы) Проведенные исследования позволяют оценить вклад ведущей научной школы Южного Урала в области конструирования и эксплуатации сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: агроинженерная научная школа, механизация сельского хозяйства, сельскохозяйственное машиностроение, научные разработки, конструкторские решения, направления научной деятельности.

Для цитирования: Годлевская Е.В., Ценч Ю.С. Развитие механизации сельского хозяйства Южного Урала: вклад научной школы Е.М. Харитончика // Технический сервис машин. 2023. Т. 61. N1(150). С. 187-196. DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-187-196. LCZDNA.

MECHANIZATION OF AGRICULTURE IN THE SOUTHERN URALS: CONTRIBUTION OF E.M. KHARITONCHIK SCIENTIFIC SCHOOL

¹Elena V. Godlevskaya, Ph.D.(Ped.),
Deputy Director for Scientific and methodological work;
²Yulia S. Tsench, Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher

¹Chelyabinsk State Industrial and Humanitarian College
named after A.V. Yakovlev, Chelyabinsk, Russian Federation

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The process of formation and development of agroengineering scientific schools of the Southern Urals should be considered as part of the development process both in the country and in its various regions of its own agricultural engineering. (Research purpose) The research purpose is analyzing the directions of the scientific school of Yefim Mironovich Kharitonchik, and to identify its role in the development of the process of mechanization of agriculture in the region. (Materials and methods) Analyzed the work activity of E.M. Kharitonchik related to the production of agricultural machinery at factories in Moscow and the Moscow region. It was shown that the first scientific developments were works on the creation and improvement of instruments and testing machines, as well as designs of tractor units and systems. (Results and discussion) It was revealed that the following areas of the scientific school of Kharitonchik have gained great fame: modification of tractor engines; development of the theory of specific parameters of tractors; evaluation and optimization of parameters of tractors and their aggregates; study of vibrations of tractor engines; creation of hydrostatic drives of active trailers for heavy-duty road trains. (Conclusions) The information given in this article allows us to build a chronological chain of work of the scientific and engineering thought of the scientific school of the Southern Urals in the field of design and operation of agricultural machinery.

Keywords: agricultural engineering, agricultural mechanization, scientific developments, design solutions, industrial tractor building, hydraulic motor, directions of scientific activity.

For citation: Godlevskaya E.V., Tsench Yu.S. Mekhanizatsiya sel'skogo khozyaystva Yuzhnogo Urala:vklad nauchnoy shkoli E.M. Kharitonchika [Mechanization of agriculture in the Southern Urals: scientific school of E.M. Kharitonchik]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022. Vol. 61. N1(150). 187-196 (In Russian). DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-187-196. LCZDNA.

Введение. Одна из первоочередных государственная задача в период 1920-1930 гг. прошлого века — развитие в стране собственного сельскохозяйственного машиностроения, которое нельзя было осуществить без организации подготовки научно-технического и кадрового потенциала [1, 2].

В Челябинске в 1930 г. закончилось строительство первого высшего учебного заведения — Уральского института механизации и электрификации сельского хозяйства (далее — ЧИМИЭСХ). В формировании кадров приняли участие специалисты со всей страны, в их числе были пионеры агроинженерной науки М.П. Сергеев, Е.М. Харитончик, И.Е. Ульман, Г.Д. Терсков, К.Г. Колганов. Их научный и трудовой энтузиазм заложил основу первых научных школ по сельскохозяйственному машиностроению на Южном Урале. Через организованные ими кафедры прошли обучение специалисты, которые поднимали советское сельхозмашиностроение на Челябинском тракторном заводе, заводе имени Д.В. Колющенко, трудились на полях области и осваивали целину [3, 4].

Активная работа научных школ ЧИМИЭСХ с предприятиями начала приносить свои плоды уже во время Великой Отечественной войны. Разработками научных школ пользовались на только сельскохозяйственная, но и военно-промышленная и строительная отрасли.

Научная деятельность Е.М. Харитончика неразрывно связана с историей механизации сельского хозяйства СССР. А ученики и последователи, основываясь на его научных трудах, внедряют новые технологии и совершенствуют конструкции сельскохозяйственных машин и агрегатов.

Цель исследования – проанализировать направления работ научной школы Ефима Мироновича Харитончика и выявить ее роль в развитии процесса меха-

низации сельского хозяйства региона. Сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева — Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ) стали для доктора технических наук (1972 г.), профессора (1961 г.) Е.М. Харитончика (1902-1982 гг.) отправной точкой его интереса к технике и изобретательству. Под руководством русского советского ученого в области сельскохозяйственных машин, почетного члена АН СССР, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика ВАСХНИЛ В.П. Горячкина Е.М. Харитончик осваивал новое учение о сельскохозяйственных орудиях и двигателях.

Начало его научной деятельности совпало с проводившейся в СССР в период с 1928 по 1937 г. массовой коллективизацией. Обучаясь в аспирантуре (1931 г.), Е.М. Харитончик по заданию Московского областного Комитета КПСС выполнял работы, связанные с выпуском сельскохозяйственной техники на заводах Москвы и Московской области. Е.М. Харитончик был направлен на развертывание сельхозмашиностроения для социалистического сельского хозяйства — совхозов и колхозов, поскольку с 1927 г. состоял в партии. Сельхозмашиностроение стало делом государственной важности [1].

Е.М. Харитончик, один из многих учеников, соратников и последователей В.П. Горячкина, в своей работе реализовывал и развивал его основные постулаты. Согласно установкам В.П. Горячкина научно-исследовательская работа служит основой для прогресса сельскохозяйственного машиностроения и механизации сельского хозяйства и должна быть построена на систематической, непрерывной, теоретической и экспериментальной работе в лабораторных условиях, научном анализе полевых испытаний при постоянном контроле [2].

Материалы и методы. Одними из первых научных публикаций Е.М. Харитончика стали разработки в области усовершенствования испытательного оборудования, позволяющего фиксировать следующие экспериментальные параметры:

- приспособление для передвижения груза в машинах для испытания материала на разрыв, позволяющее автоматически уравновешивать нагрузку в разрывном прессе;
- прибор для регистрации скорости вращения вала, фиксирующий синусоиду на пишущей ленте;
- прибор для записи силы тяги в пути, измеряемой посредством упругих деформаций пружины и записываемой на ленте, получающей движение от колес.

В дальнейшем вопросы совершенствования конструкций и средств контроля технического состояния тракторов также становились актуальными в научно-исследовательской работе Е.М. Харитончика. Начало его научной деятельности совпало с этапом развития инженерной мысли в области усовершенствования конструкций тракторов. В 1929 г. он подал заявку на патент тракторного колеса со шпорами (Тракторное колесо со шпорами: пат. СССР N 529881 по МПК В60В 15/02 / Харитончик Е.М.; заявл.15.08.29.; опубл. 31.08.31). Преимущество данной конструкторской разработки состояло в самозащите колеса от грязи из-за конструкции шпор, образованных выступами, расположенными по периферии двух дисковых венцов колеса (рис. 1).

Винтовая поверхность венцов способствовала сползанию грязи со шпоры вследствие давления почвы.

В 1937 г. Е.М. Харитончик успешно защитил кандидатскую диссертацию на кафедре тракторов и автомобилей МИМЭСХ и был направлен в Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, где возглавил кафедру «Тракторы и автомобили». Проявляя хорошие организаторские способности, Е.М. Харитончик за короткое время решил проблему

со штатными преподавателями кафедры, включив в ее состав легендарного изобретателя, пионера отечественного тракторостроения Я.В. Мамина.

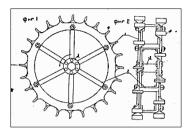


Рис. 1. Тракторное колесо со шпорами

Будучи членом технического совета Челябинского тракторного завода, Е.М. Харитончик вместе с сотрудниками кафедры в содружестве со специалистами Челябинского тракторного завода (ЧТЗ), Научного автотракторного института (НАТИ) проводили работу по определению основных параметров новой машины завода — дизельного трактора С-65. Опытно-экспериментальная работа потребовала создания на кафедре аспирантской группы. В состав первых аспирантов и учеников научной школы Е.М. Харитончика вошли: А.И. Елюхин, Н.З. Михеев, А.Ф. Подлеснов, М.И. Шевченко.

Появились совместные научные разработки в области усовершенствования двухтактного двигателя тяжелого топлива со ступенчатыми поршнями (С.Я. Камсков, В.И. Кочетков, Я.В. Мамин, Н.З. Михеев, П.И. Саяпин, Е.М. Харитончик, М.И. Шевченко), изучения влияния массы трактора на его энергетические показатели (П.И. Саяпин, Е.М. Харитончик).

Применяя опыт практического конструирования (при работе В ГСКБ ЧТЗ), Е.М. Харитончик соединил богатейший экспериментальный материал, полученный при испытании тракторов в Персияновке (1927 г.), теоретический материал («Теория трактора» Е.Д. Львов, 1936 г.) и заложил основы подотрасли «Промышленное тракторостроение». Его работы вносили изменения в конструкции выпускаемых на Челябинском тракторном заводе тракторов и закладывали основу для конструирования новых моделей [5].

Одна из предвоенных научно-исследовательских работ была посвящена исследованию буксования и потерь трактора на перекатывание. Взяв за основу формулу по расчету буксования Е.Д. Львова:

$$\delta = \frac{P_{\rm k}}{FCL_0},\tag{1}$$

где P_k – касательная сила тяги;

F – сумма проекций, погруженных в почву, упорных поверхностей шпор на площадь нормальную к направлению движения;

C – коэффициент характеризующий совокупность механических свойств почвы (кг/см³);

 L_0 – длина опорной поверхности гусеницы,

Е.М. Харитончик вывел уравнение буксования для гусеничного трактора, которое, увязывая теорию с практикой, позволяло выходить на конструирование оптимальных параметров геометрии гусеницы при заданной величине силы тяги:

$$\delta = \frac{P_{\rm k}L}{2bh\,C\,L_0^2}\,,\tag{2}$$

где P_k – касательная сила тяги;

L – расстояние между шпорами (обычно равна шагу гусеницы);

b – длина шпоры (обычно равна ширине гусеничной шпоры);

h – высота шпоры;

C – коэффициент, характеризующий совокупность механических свойств почвы (кг/см³);

 L_0 – длина опорной поверхности гусеницы.

Анализируя уравнение (2) с точки зрения того, какие размеры гусеницы и в какой мере влияют на величину буксования, Е.М. Харитончик приходит к выводу, что величина буксования трактора при данных значениях силы тяги и коэффициенте, характеризующем совокупность механических свойств почвы, будет тем меньше, чем больше квадрат длины опорной поверхности гусениц, упорная поверхность $b \cdot h$ каждой шпоры и чем меньше расстояние между шпорами [5].

В 1944 г. Е.М. Харитончик, рассматривая проблему буксования ленты и колеса трактора, предложил снабжать ленту выступами на внутренней и наружной поверхностях. Выступы на внутренней поверхности при движении должны входить в отверстия, предусмотренные для этого на ободе колеса (рис. 2).

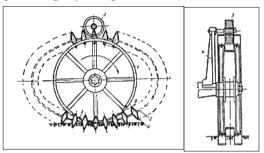


Рис. 2. Зацепление выступов гусеницы (полученных путем штампования) с отверстиями колеса

В процессе испытания пары «лента—колесо» данной конструкции опытным путем был исследован объем деформации почвы шпорами и мощность, теряемая на деформацию почвы. Экспериментальные данные показали, что при увеличении диаметра колеса в два раза и за счет уменьшения глубины погружения шпор также в два раза, кинематический объем деформации почвы каждой шпорой уменьшается более чем в пять раз (Движитель с бесконечной колеей для повозок: пат. СССР N 332933 по МПК G01L 5/13, G01D 9/26 / Харитончик Е.М., Деулин Н.П.; заявл. 05.04.44; опубл. 31.12. 47).

Коррективы в научные разработки внесла Великая Отечественная война. Большой дефицит нефтяного топлива поставил перед научными работниками ЧИМЭСХ и конструкторами завода ЧТЗ проблему перевода тракторных двигателей на питание от газогенераторных установок, работающих не только на твердом топливе (березовые чурки), но и на соломе. Сын Я.В. Мамина, руководитель экспериментального КБ ЧТЗ В.Я. Мамин, один из энтузиастов газогенераторов, в 1936 г. внедрил в производство трактор С-60 с газогенератором конструкции С.И. Декаленкова – Д-8. Дальнейшее усовершенствование газогенератора для челябинских машин Наркомтяжпром поручил институту НАТИ, который разработал газогенератор Г-25.

Коллектив кафедры «Тракторы и автомобили», возглавляемый Е.М. Харитончиком, провел серию испытаний газогенераторной установки для будущего трактора СГ-65, а В.Я. Мамин существенно улучшил газогенератор Γ -25, разработав новую штампованную двухфурменную газификационную камеру.

Творческий вклад в эту работу отмечен авторским свидетельством (N 79489, 1950 г.), выданным участникам работы (Я.В. Мамин, Е.М. Харитончик, В.И. Кочетков, П.И. Саяпин, С.Я. Камсков, М.И. Шевченко и Н.З. Михеев).

Следующим конструктивным решением по совершенствованию работы газогенератора стало устройство для автоматического золоудаления и шурования топлива (Е.М. Харитончик, С.С. Черепанов). Разработанное мембранное устройство позволяло автоматически регулировать интенсивность золоудаления и шурования топлива в зависимости от разницы давлений в полостях 1 и 2 (полость 2 через золотник соединялась с газогенератором) (рис. 3).

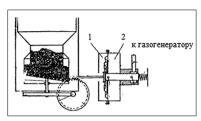


Рис. 3. Устройство для автоматического золоудаления и шурования топлива

В период Великой Отечественной войны научно-педагогическая деятельность Е.М. Харитончика была направлена на подготовку кадров для сельскохозяйственной и военной промышленности и внедрение в производство технологий энергосбережения. В период с 1943 по 1949 г. в Челябинском механико-машиностроительном институте (ЧММИ) Е.М. Харитончик, заведующий кафедрами «Танки» и «Двигатели и внутреннего сгорания», принимал активное участие в подготовке кадров для «Танкограда», в состав которого входили Кировский завод НКТП (созданный на базе Челябинского тракторного завода) и эвакуированные заводы из Ленинграда, Харькова, Сталинграда, Москвы [6, 7].

Одновременно в рамках работы в конструкторском бюро ЧТЗ Е.М. Харитончик организовал и выполнял научно-производственные работы, связанные с заменой жидкого топлива генераторным газом на тракторах и автомобилях. По заданию Челябинского Облисполкома перевел на газ дизель электростанции в городе Троицке.

За перечисленные выше виды работ Е.М. Харитончик был удостоен медали «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.» (рис. 4).



Рис. 4. Доктор технических наук, профессор Е.М. Харитончик

В последние годы войны Е.М. Харитончик, работая в Москве в Народном комиссариате земледелия СССР (НКЗ), участвовал в создании первого послевоенного типажа сельскохозяйственных тракторов, вошедшего в первую Систему машин [7, 8].

Одно из многих направлений научной деятельности Е.М. Харитончика базируется на применении законов гидромеханики и теплотехники в процессе разработки бесступенчатых трансмиссий на сельскохозяйственных тракторах. Так, в 1964 г. Е.М. Харитончик получил авторское свидетельство на усовершенствование ротационного гидромотора, который имеет постоянное число оборотов ротора и обеспечивает постоянный крутящий момент при неизменном давлении жидкости (Ротационный гидромотор: пат. СССР N 163489 по МПК F05g, B62d / Харитончик Е.М.; заявл.19.08.60; опубл. 22.06.64.) Данный

ротационный гидромотор предназначался для привода ведущих колес тракторов и землеройных машин. Формула изобретения заключалась во встроенных в конструкцию статора 1 золотниковых коробок (количество которых зависит от числа поршней 2), попеременно сообщающихся с полостями высокого 9 и низкого 8 давления. Для беспрепятственного прохождения поршня заслонки 4 автоматически утапливаются за счет возвратной пружины и каналов, сообщающихся с полостями высокого и низкого давления (рис. 5).

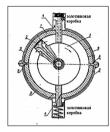


Рис. 5. Ротационный гидромотор (патент N 163489)

Опыт работы, полученный при разработке газогенератора для трактора СГ-65 и в процессе работы кафедры «Трактора и автомобили» по разработке бесступенчатых трансмиссий на сельскохозяйственных тракторах, привел Е.М. Харитончика к идее разработки гидроавтомобиля без коробки передач, сцепления, кардана, редуктора заднего моста и тормозной системы [9]. Передачу энергии от двигателя к рабочим колесам должен осуществлять насос и гидромотор. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на бензине, предлагалось заменить на теплогидрогенератор (рис. 6).

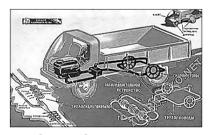


Рис. 6. Гидроавтомобиль, работающий на теплогидрогенераторе

Е.М. Харитончик указывал: «При использовании на автомобиле гидропередачи имеет смысл тепловую энергию непосредственно в гидравлическую, используя при этом теплогидравлический генератор. Энергия сгорающего топлива нагревает жидкость, залитую в теплообменник, и испаряет ее. Пар поступает в струйный насос, вырывающаяся из сопла струя его засасывает жидкость и гонит ее в систему трубопроводов. На пути жидкости стоит узел распределения, который осуществляет плавное изменение скорости автомобиля. Самое главное в гидроавтомобиле — это, конечно, простота схемы и взаимозаменяемость основных его узлов» [9]. На многочисленных научных трудах Е.М. Харитончика училось несколько поколений инженеров и научных работников. Так, большую известность получили научно-педагогические школы, представленные следующими направлениями:

- модификацией тракторных двигателей (конструктор, начальник лаборатории испытания двигателей ЧТЗ В.Н. Попов, ведущий конструктор-дизелист НАТИ А.В. Лебедев, инженер А.С. Балаев). Под руководством В.Н. Попова (профессора кафедры «Тракторы и автомобили» ЧИМИЭСХ) разработаны и приняты к производству опытные специальные и тракторные двига-

тели, дизель Д-11 и газовый двигатель Р-3, двигатели КДМ-100, Д-130, Д-170;

- теорией удельных параметров тракторов, оценки и оптимизации параметров тракторов и их агрегатов (инженер-испытатель, кандидат технических наук В.И. Саяпин);
- исследование вибраций тракторных двигателей (ученый в области тракторного двигателестроения А.Ф. Башкатов);
- создание гидростатических приводов активных прицепов для большегрузных автопоездов, гидростатических передач автомобильных и тракторных систем (доктор технических наук, профессор, ректор Свердловского сельскохозяйственного института Ю.И. Багин);
- повышение использования мощности двигателя сельскохозяйственного трактора (доктор технических наук, профессор В.Н. Кычёв);
- применение гидромеханических трансмиссий на промышленных тракторах семейства Т-130—Т-170 (инженер-конструктор, заведующий кафедрой гусеничных машин автотракторного факультета ЧПИ М.И. Злотник);
- совершенствование двигателей внутреннего сгорания (действительный член Академии аграрного образования В.И. Суркин).

Результаты и обсуждение. Изыскания научной школы Е.М. Харитончика напрямую были связаны с развитием сельхозмашиностроения СССР. В период с 1930-х по 2000 г. представители научной школы Е.М. Харитончика защитили диссертационные работы по следующим направлениям: создание и совершенствование оборудования для испытаний; исследование и применение законов гидромеханики для конструирования агрегатов тракторов; взаимодействие движетелей с почвой; тяговый и энергетический баланс; конструирование агрегатов и систем; расчет агрегатов и систем; теория технической эксплуатации [10].

Выводы. Можно отметить хронологию разработок научной школы под руководством Е.М. Харитончика по направлениям исследований: 1930-1940 гг. – разработка конструкции и расчет процесса взаимодействия движителя с почвой; 1930-1980 гг. – создание и совершенствование оборудования для испытаний, а также расчет и конструирование агрегатов и систем; 1950-2000 гг. – разработка теории трактора и технической эксплуатации сельхозмашин. Деятельность ученых и последователей научной школы Е.М. Харитончика внесла существенный вклад в развитие агроинженерной науки, механизации сельского хозяйства и сельскохозяйственное машиностроение Южного Урала.

Библиографический список

- 1. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ВИМ. 2021. 156 с.
- 2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. N2. C. 4-13.
- 3. Ценч Ю.С. Ароинженерная наука в СССР в 1920-1941 годы // Технический сервис машин. 2021. Т.59. N 1 (142). С. 178-192.
- 4. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Становление системы агроинженерного образования в СССР в 1920-1930-е гг. // Вестник российского университета дружбы народов. серия: История России. 2020. Т. 19. N3. С. 684-698.
- 5. Харитончик Е.М. Буксование и потери на перекатывание тракторов // Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства / Министерство сельского хозяйства СССР. Челябинск: ЧИМЭСХ. 1941. Вып. 1. С. 5-20.
- 6. Ценч Ю.С. Профессиональные стандарты как фактор сокращения дефицита квалификационных кадров // Вестник Челябинской государственной агроинженер-

ной академии. 2014. Т. 67. N 2. С. 62-65.

- 7. Поливаев О.И. Научно-педагогическая деятельность доктора технических наук, профессора кафедры тракторов и автомобилей Воронежского сельскохозяйственного института им. К.Д. Глинки Харитончика Ефима Мироновича (1902-1982 гг.) // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115 годовщине со дня рождения профессора Харитончика Ефима Мироновича (Россия, Воронеж, 6 апреля 2017 г.). Воронеж: Воронежский ГАУ. 2017. С. 10-13.
- 8. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. N12. C. 46-55.
- 9. Харитончик Е.М. Пути совершенствования трансмиссии тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1961. N10.
- 10. Харитончик Е.М. Повышение мощности двигателя и улучшение очистки газа за счет применения наддува струйным аппаратом. Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства. 1959. Выпуск 7.

References

- 1. Tsench Yu.S. Stanovlenie i razvitie nauchno-tekhnicheskogo i kadrovogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Formation and development of scientific, technical and personnel support of the agro-industrial complex of Russia]. M.: VIM. 2021. 156 (In Russian).
- 2. Tsench Yu.S. Nauchnotekhnicheskiy potentsial kak glavnyy faktor razvitiya mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva [Scientific and technical potential as the main factor in the development of agricultural mechanization]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian).
- 3. Tsench Yu.S. Aroinzhenernaya nauka v SSSR v 1920-1941 gody. [Agroengineering science in the USSR in 1920-1941]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2021. Vol.59. N1 (142). 178-192 (In Russian).
- 4. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Stanovlenie sistemy agroinzhenernogo obrazovaniya v SSSR v 1920-1930-e gg. [Formation of the agroengineering education system in the USSR in the 1920s-1930s]. Vestnik rossiyskogo universiteta druzhby narodov. seriya: Istoriya Rossii. 2020. Vol. 19. N3. 684-698 (In Russian).
- 5. Kharitonchik E.M. Buksovanie i poteri na perekatyvanie traktorov [Slipping and losses on rolling tractors]. Trudy CHelyabinskogo instituta mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva SSSR. Chelyabinsk: ChIMESKh. 1941. Iss. 1. 5-20 (In Russian).
- 6. 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).
- 7. Polivaev O.I. Nauchno-pedagogicheskaya deyatel'nost' doktora tekhnicheskikh nauk, professora kafedry traktorov i avtomobiley Voronezhskogo sel'skokhozyaystvennogo instituta im. K.D. Glinki Kharitonchika Efima Mironovicha (1902-1982 gg.) [Scientific and pedagogical activity of Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Tractors and Automobiles of the Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka Kharitonchik Efim Mironovich (1902-1982)]. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v razlichnykh rezhimakh dvizheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 115 godovshchine so dnya rozhdeniya professora Kharitonchika Efima Mironovicha (Rossiya, Voronezh, 6 aprelya 2017 g.). Voronezh: Voronezhskiy GAU. 2017. 10-13 (In Russian).

- 8. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Creation and development of machine systems and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N12. 46-55 (In Russian)
- 9. Kharitonchik E.M. Puti sovershenstvovaniya transmissii traktorov [Ways to improve tractor transmission]. Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny. 1961. N10 (In Russian).
- 10. Kharitonchik E.M. Povyshenie moshchnosti dvigatelya i uluchshenie ochistki gaza za schet primeneniya nadduva struynym apparatom [Increasing engine power and improving gas purification due to the use of supercharging by the jet apparatus]. Trudy CHelyabinskogo instituta mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. 1959. Vypusk 7 (In Russian).

Заявленный вклад соавторов

Годлевская Е.В. — анализ предметной области, написание текста и формирование выводов;

Ценч Ю.С. – общее руководство, постановка задач исследования, научное редактирование текста статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Godlevskaya E.V. – analysis of the subject area and the formation of text and conclusions;

Tsench Yu.S. – general guidance, formulation of research objectives. All the authors have read and approved the final manuscript.