Федеральное агентство научных организаций

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

ТРУДЫ ГОСНИТИ

Том 131

Москва
2018

Теоретическое и научно-практическое издание «Труды ГОСНИТИ» основано в 1963 году. Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Труды зарегистрированы в федеральной службе по надзору в сфере связи информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) св-во о рег. ПИ №ФС77-71468 от 13.11.2017 года.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Черноиванов В.И. – академик РАН, д.т.н., профессор – председатель редакционного совета (vichernoivanov@mail.ru).

Лялякин В.П. – д.т.н., профессор – заместитель председателя, ведущий научный сотрудник ФНАЦ ВИМ (valpal-1938@mail.ru, (495) 371-21-44).

Соловьев С.А. – д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН – член совета (serg_solovev_56@mail.ru 8 (925) 324-18-44).

Дорохов А.С. – д.т.н., чл.-корр. РАН – зам. директора ФНАЦ ВИМ – член совета (dorokhov@rgau-msha.ru, +7 (499) 171-43-49; +7 (499) 171-19-33).

Денисов В.А. – д.т.н. – зав.отдела ФНАЦ ВИМ – член совета (va.denisov@mail.ru, phone 8 (499) 174-80-80).

Иванов В.П. – д.т.н., профессор Полоцкого государственного университета Республики Беларусь, член совета.

Юдин В.М. – д.т.н., профессор – зав.кафедрой «Надежность и ремонт машин им. И.С. Левицкого» Российского государственного аграрного заочного университета, г. Балашиха, член совета (vudin2006@mail.ru).

Шарифуллин С.Н. – д.т.н., профессор филиала Казанского федерального университета, член совета (saidchist@mail.ru, + 7-960-054-85-95).

Кешуов С.А. – д.т.н., профессор, Казахский НИИМЭСХ Республики Казахстан, член совета (kazniimesh@yandex.kz, +7 777 236 90 01).

Габитов И.И. – д.т.н., ректор Башкирского государственного аграрного университета (bgau@ufanet.ru).

Ценч Ю.С. – к.п.н., доцент, начальник отдела образования, научно-технической информации и редакционно-издательской деятельности ФНАЦ ВИМ (vimasp@ mail.ru).

Спицын И.А. – д.т.н., профессор, Пензенский государственный аграрный университет (penz_gau@mail.ru).

Сенин П.В. – д.т.н., профессор, проректор по научной работе Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева (vice-rector-innov@adm.mrsu.ru).

Адрес редакции: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5.
Тел. (495) 371-21-44
www.gosniti.ru e-mail: valpal-1938@mail.ru

Свидетельство о регистрации:
ПИ №ФС77-71468 от 13.11.2017 года

Выходит 4 раза в год.
Подписано в печать 15.05.2018 г.
Формат 60 х 84/8. Объем 30,5 п.л.
Тираж 100 экз., заказ 946.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

ISSN-2587-6864

«Труды ГОСНИТИ» включены в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и международную систему цитирования «AGRIS» для публикации результатов исследований по докторским и кандидатским диссертациям.

Полный перечень статей размещен на сайте научной библиотеки elibrary.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018

Theoretical and scientific-practical publication «Proceedings of GOSNITI» was founded in 1963. The founder and publisher is the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (FSBSI FSAC VIM). Proceedings are registered with the Federal Service for Supervision in the Area of Communications of Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor) ПИ №ФС77-71468 from 11/13/2017.

EDITORIAL COUNCIL

Chernoyivanov V.I. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor – Chairman of the Editorial Board (vichernoivanov@mail.ru)

Lyalyakin V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor – Deputy Chairman, Ved. FIBNU FNAC VIM researcher (valpal-1938@mail.ru, (495) 371-21-44)

Soloviev S.A. – Doctor of technical sciences, professor, member of corr. RAS - Ch. Research Fellow of the FBBUU FNAC VIM (serg_solovev_56@mail.ru 8 (925) 324-18-44)

Dorokhov A.S. – Doctor of technical sciences, member of the corr.RAN - deputy director of the FGBNU FNAC VIM (dorokhov@rgau-msha.ru, +7 (499) 171-43-49; +7 (499) 171-19-33)

Denisov V.A. – Doctor of Technical Sciences - Head of the Department of the Federal State Financial Supervision Service of the Federal Antimonopoly Service of Ukraine (va. denisov@mail.ru, phone 8 (499) 174-80-80)

Ivanov V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Polotsk State University of the Republic of Belarus, Council Member. (ivprem@tut.by, +375 29 646-29-10)

Yudin V.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor - Head of the Department «Reliability and repair of machines im.I. Levitsky «of the Russian State Agrarian Correspondence University, Balashikha, councilor (vudin2006@mail.ru)

Sharifullin S.N. – Doctor of technical sciences, professor of the branch of Kazan federal university, member of the council (saidchist@mail.ru, + 7-960-054-85-95)

Keshuov S.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, gene. Director of the Association Kazakh Scientific Research Institute of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, member of the Board, (kazniimesh@yandex.kz, +7 777 236 90 01)

Gabitov I.I. – Doctor of technical sciences, rector of Bashkir State Agrarian University (bgau@ufanet.ru)

Tsench Yu.S. – Candidate of pedagogical sciences, associate professor, head of the Department of education, scientific and technical information and editorial and publishing activities of the FSAC VIM (vimasp@mail.ru)

Spitsyn I.A. – Doctor of technical sciences, professor, Penza State Agrarian University (penz_gau@mail.ru)

Senin P.V. – Doctor of technical sciences, professor, Vice-rector for scientific work of the Mordovian State University Named After N.P. Ogareva. (vice-rector-innov@adm.mrsu.ru)

Actual address of the editorial office: 109428, Moscow, 1 st Institutsky pr., 5.
Phone: (495) 371-21-44; e-mail: valpal-1938@mail.ru; www.gosniti.ru

Certificate of registration (Roskomnadzor):
ПИ № ФС 77-71468 of 11/13/2017

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

Certificate of registration at the National Center
ISSN-2587-6864

«Proceedings of GOSNITI» are included in the Russian Scientific Citation Index (RINC) and the international citation system «AGRIS» for publication of research results on doctoral and candidate dissertations.

A full list of articles is available on the website of the scientific library: **elibrary.ru**

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ 11

Тимохин С.В., Спицын И.А., Богатырёв П.В., Петрищев Н.А.
Двухтопливная аккумуляторная система питания для автомобиля УАЗ Патриот 12

Воробьев Ю.В., Дунаев А.В.
Активация топлива уменьшает дымность отработавших газов автотракторных дизелей 20

Марьин Н.А., Павлюк Р.В., Захарин А.В., Лебедев П.А., Жевора Ю.И., Лебедев А.Т.
Исследование износостойкости серийных и модернизированных пар трения механических вакуумных насосов в безабразивной среде 27

Новожилов А.И., Дунаев А.В., Курепчиков С.А., Базаев А.В.
Техническое перевооружение – залог повышения эффективности использования МТП 35

Дунаев А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А.
Актуальность пересмотра стандарта на техническое обслуживание сельскохозяйственной техники 42

Каперзов А.О.
Инженерные методы защиты окружающей среды 51

Казакова В.А., Шинкевич В.А., Филиппова Е.М., Ивлева И.Б.
Стандарт организации – эффективный инструмент ускорения работ по стандартизации 58

Петрищев Н.А., Данков А.А., Макаркин И.М., Поспелов А.Р., Саяпин А.С.
Средства контроля качества для решения задач производственной системы сельхозмашиностроителей 66

Табаков П.А., Федоров Д.И., Мишина З.Н.
Обеспечение продовольственной безопасности Чувашской Республики к 2020 году 74

Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А.
Теоретическая модель определения границ эксплуатации и утилизации сельскохозяйственной техники, выводимой из эксплуатации 83

Криков А.М., Коротких В.В., Лившиц В.М., Бердникова Р.Г., Мишина З.Н.
Обобщенная структура системы информационной поддержки выполнения операций технического обслуживания тракторов и автомобилей 92

Соломашкин А.А.
Механизм возникновения отказа в деталях машин 99

Кострицкий В.В., Фруцкий В.А., Макаркин И.М.
Повышение эффективности диагностирования бензинового двигателя по осциллограмме давления в цилиндре 105

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ 113

Сидоров С.А., Миронов Д.А., Зволинский В.Н.
Результаты научно-практических исследований повышения технического уровня рабочих органов плугов общего назначения 114

Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Иванов В.И.
Восстановление корпуса гидромотора низковольтной электроискровой обработкой 126

Кудряшова Е.Ю., Шемберев И.А., Задорожний Р.Н.
Исследование гранулометрического состава порошка тугоплавких материалов, полученного методом электроэрозионного диспергирования 133

Кудряшова Е.Ю., Постнов К.А.
Методика последовательного нанесения слоев на керамический блок каталитического нейтрализатора 143

Агеев Е.В., Новиков Е.П., Денисов В.А.
Исследование покрытий восстановленной ГБЦ двигателя ЗМЗ-406, полученных газодинамическим напылением 151

Лебедев А.Т., Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В., Марьин Н.А., Соломашкин А.А.
Повышение ресурса плунжерных пар дизельных двигателей 160

Андрушевич А.А., Василевский П.Н., Калиниченко В.А., Лисай Н.К.
Литые композиционные материалы для использования в агропромышленном комплексе: применение и свойства 168

Пастухов А.Г., Минасян А.Г., Дегтярев Н.М., Горина В.Я.
Электромеханическая обработка деталей машин – энергоэффективная технология 174

Шарифуллин С.Н., Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П., Аулов В.Ф.
Восстановление деталей топливной аппаратуры методом финишного плазменного упрочнения 182

Загиров И.И., Игнатьев А.Г., Павлов А.П., Костюков А.Ю.
Сравнительные исследования остаточных напряжений в металлопокрытиях, сформированных контактной приваркой проволок 194

Юдин В.М., Веселовский Н.И., Кулаков К.В., Чавдаров А.В.
Влияние параметров переменного тока при восстановлении деталей гальваническими покрытиями 202

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 209

Денисов В.И., Чавдаров А.В., Толкачев А.А.
Перспективное направление снижения себестоимости сельскохозяйственных машин 223

Титов Н.В., Денисов В.И.
Технологические возможности КВДУ как инновационного способа упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин 229

Жачкин С.Ю., Лялякин В.П., Пеньков Н.А., Краснова М.Н.
Моделирование режимов осаждения композитных гальванических дисперсно-упрочненных покрытий при восстановлении деталей сельхозмашин 237

CONTENTS

MAINTENANCE. REPAIR 11

Timokhin S.V., Spitsyn I.A., Bogatyrev P.V., Petrishchev N.A.
Two-fuel rechargeable power supply system for UAZ Patriot car 12

Vorobyov Y.V., Dunaev A.V.
Activation of the fuel reduces the smoke exhaust gases of automotive diesel engines . . . 20

Marin N.A., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Zhevora Yu.I., Lebedev A.T.
Investigation of wear-resistance of serial and modernized friction frames of mechanical vacuum pumps in a non-free environment 27

Novozhilov A.I., Dunaev A.V., Kurepchikov S.A., Bazaev A.V.
Technical re-equipment is the guarantee for increasing the efficiency of the use of MTP 35

Dunayev A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A.
Relevance of revision of the standard on maintenance of agricultural machinery 42

Kaperzov A.O.
Engineering methods of environmental protection 51

Kazakova V.A., Shinkevich V.A., Filippova E.M., Ivleva I.B.
The standard of the organization – the effective instrument of acceleration of works on standardization 58

Petrishchev N.A., Dankov A.A., Makarkin I.M., Pospelov A.R., Sayapin A.S.
Quality control facilities for the solution of problems of the production system agricultural mechanicians 66

Tabakov P.A., Fedorov D.I., Mishina Z.N.
Ensuring food security of the Chuvash Republic by 2020 74

Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buriakov S.A.
Theoretical model define the boundaries of operation and utilization of agricultural machinery being dismantled 83

Krikov A.M., Berdnikova R.G., Korotkikh V.V., Livshits V.M., Mishina Z.N.
Generalized structure of information support system for tractor and car maintenance operations 92

Solomashkin A.A.
Mechanism of failure in components of machines 99

Kostritsky V.V., Fruckiy V.V., Makarkin I.M.
Increasing the efficiency of diagnostics of a petrol engine on a oscillograph pressure in a cylinder 105

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS 113

Sidorov S.A., Mironov D.A., Zvolinskiy V.N.
Results of scientific and practical researches improving the technical level
of the working bodies of General-purpose plows 114

Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S.,
Reconditioning of Hydroengine Case by Low Voltage Electro Spark Machining 126

Kudriashova E.Yu., Shemberev I.A., Zadorozhniy R.N.
Investigation of granulometric composition powder of reinforced materials obtained
by method of electroerozy dispersion 133

Kudriashova E.Yu., Postnov K.A.
Methodology of sequential application of layers on a ceramic block of a catalytic
neutralizer 143

Ageev E.V., Novikov E.P.
Research of coverings of restored head of cylinders block of zmz-406 engine,
received by gas-dynamic spraying 151

Lebedev A.T., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V., Marin N.A.
Improving the resource plunger pairs of diesel engines 160

Andrushevich A.A., Wasilewski P.N., Kalinichenko V.A., Lisay N.K.
Cast composite materials for use in agriculture: application and properties 168

Pastukhov A.G., Minasyan A.G., Degtyarev N.M.
Electromechanical processing the parts of cars – Energy efficient technology 174

Sharifullin S.N., Topolyansky P.A., Ermakov S.A., Topolyansky A.P.
Recovery of fuel details by method of finished plasma stiffening 182

Zagirov I.I., Ignatiev A.G., Pavlov A.P.
Comparative study of residual stresses in the coatings formed by the contact
welding of wires 194

Yudin V.M., Veselovskiy N.I., Kulakov K.V.
The influence of the parameters of alternating current when restoring parts
with galvanic coatings 202

Verkhoturov A.D., Ivanov V.I., Pryadko L.F., Konevtsov L.A.
Electrode materials at eil: effect on erosion and the properties of the deposited
layer and the criteria of evaluation of efficiency 209

Denisov V.I., Chavdarov A.V., Tolkachev A.A.
Perspective direction of reducing the cost of agricultural machinery 223

Titov N.V.
Technological possibilities of Carbo-Vibro-Arc Hardening as innovative method
of tillage tool hardening 229

Zhachkin S.Yu., Lyalyakin V.P., Penkov N.A., Krasnova M.N.
Modeling of sedimentation regimes of composite galvanic dispersed-hardened
coatings during restoration of parts of agricultural machinery 237

Требования к оформлению материалов для опубликования:

Материалы следует представлять в редакцию: в электронном варианте по электронной почте или непосредственно на электронном носителе; если материалы передаются лично, необходимо передать и распечатанные варианты всех документов: статьи, рецензии, и др.

Научная статья, должна иметь ограниченный объем **7-10 страниц** машинописного текста. Текст должен быть набран в текстовом редакторе **«Microsoft Word 2003» Шрифт – Times New Roman. Высота шрифта – 14.** Ориентация: книжная, без переносов, желательно без постраничных сносок. Чтобы проставить абзацы в тексте, нажмите на клавишу «таб» на клавиатуре

Межстрочный интервал – полуторный 1,5. Выравнивание по ширине.

Поля: слева 2-2.5, справа 1-1,5, сверху 2, снизу 1,5

Рисунки и таблицы, располагающиеся по тексту статьи, должны быть также выполнены отдельно в формате jpeg, иметь единую нумерацию и прилагаться к электронному варианту статьи. **Подписи к рисункам**: шрифт – 12, интервал- 1.0., не жирный, не курсив

Каждый **РИСУНОК, ГРАФИК, ТАБЛИЦА** представляются **ОТДЕЛЬНЫМ ФАЙЛОМ** в формате **JPEG**, (не надо помещать рисунки в таблицы Word)

НАЗВАНИЕ ФАЙЛА РИСУНКА ДОЛЖНО СОВПАДАТЬ С ФАМИЛИЕЙ АВТОРА.

Оформление статьи:

1. В левом верхнем углу печатается **УДК**.

Следующая строка пропускается.

2. **По центру строчными буквами** жирным шрифтом печатается название статьи (выравнивание по центру). (Интервал -1.0)

Следующая строка пропускается.

3. Далее – **фамилия и инициалы автора** строчными буквами, (не жирными, не курсивом)

Должность (подразделение организации), звание, ученая степень,

Под ними без пропуска строки – строчными буквами – ПОЛНОЕ название организации (место работы каждого автора) страна, город, (если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно).

Адрес электронной почты **E-mail для каждого автора**.

Контактные телефоны, (выравнивание по правому краю). (Интервал -1.0)

Следующая строка пропускается.

4. Далее – **Аннотация**. (Интервал – 1.5, Жирным выделяется только слово АННОТАЦИЯ)

5. Далее – **Ключевые слова**. (Интервал – 1.5) Жирным выделяется только словосочетание ключевые слова.

6. Структура статьи:

- цель исследования;
- методика;
- результаты и обсуждения;
- выводы.

7. **Литература**. (оформление пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.0.5.-2008.

На последней странице **на английском языке** печатается:

Наименование статьи; авторы (в полном объеме); аннотация; ключевые слова, ЛИТЕРАТУРА.

НАЗВАНИЯ ФАЙЛА СТАТЬИ должно содержать фамилию автора и первую фразу названия статьи

(ОБРАЗЕЦ: Иванов, Особенности восстановления деталей…)

Представляемые в редакцию материалы в обязательном порядке рецензируются специалистами по тематике статьи. Рецензии хранятся в издательстве в течение 5 (пяти) лет.

Поступившие материалы предварительно рассматривается на предмет соответствия научному направлению издания и общим требованиям Правил предоставления статьи авторами. При нарушении правил предоставления рукописей статья отправляется автору на доработку.

РЕДАКЦИЯ ОСТАВЛЯЕТ ЗА СОБОЙ ПРАВО НЕ ВКЛЮЧАТЬ В СБОРНИК ПРИСЫЛАЕМЫЕ АВТОРАМИ МАТЕРИАЛЫ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ С УКАЗАННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ

Редакция не несет ответственности за достоверность представленных материалов. Рукописи не возвращаются.

Правила выполнения рисунков:

Рисунок должен иметь формат **«Jpeg» (ни в коем случае не оставлять рисунки, сделанные непосредственно в Word или графики из Excel).**

Если рисунки сделаны в Word, а графики в Excel, то скопируйте рисунок, откройте редактор Paint; вставьте скопированный рисунок в Paint и сохраните его в **формате Jpeg**. Копируйте уже сохраненный рисунок и вставляйте в статью.

Адрес для отправления материалов:
E-mail: valpal-1938@mail.ru
109428, г.Москва, 1-й Институтский проезд, дом 1, с отметкой «Труды ГОСНИТИ», на имя ведущего сотрудника Лялякина Валентина Павловича.
Телефоны для справок: 8(495) 371-21-44;

Requirements for the design of materials for publication:

Materials should be submitted to the editors: in electronic form by e-mail or directly on electronic media; if the materials are transmitted in person, it is necessary to transfer and print out the versions of all documents: articles, reviews, etc.

A scientific article should have a limited volume of 7-10 pages of typewritten text. The text should be typed in the text editor **«Microsoft Word 2003» Font - Times New Roman. Font height - 14.** Orientation: book, without hyphenation, preferably without footnotes. To put paragraphs in the text, press the «tab» key on the keyboard

The line spacing is one and a half 1.5. Alignment to width.

Fields: left 2-2.5, right 1-1.5, top 2, bottom 1.5

Figures and tables, located under the text of the article, should also be executed separately in jpeg format, have a single numbering and be attached to the electronic version of the article. Signatures to the drawings: font - 12, interval - 1.0., Not fat, not italic

Each **FIGURE, SCHEDULE, TABLE** is represented as a SEPARATE FILE in JPEG format, and also should be placed directly in the text. (do not put pictures in Word tables)

THE FILE NAME OF THE PICTURE SHOULD COMBINE WITH THE SURNAME OF THE AUTHOR. (Ivanov Features of Figure 1 ...)

Article design:

1. UDC is printed in the upper left corner.

The next line is skipped.

2. The title of the article (center alignment) is printed in bold in the center in lower case letters. (Interval -1.0)

The next line is skipped.

3. Next - the name and initials of the author in lower case letters (not fat, not italic)

Position (division of the organization), title, academic degree,

Below them without a line break - in lower case letters - the COMPLETE name of the organization (the workplace of each author) country, city, (if all authors work in the same institution, you can not specify the work place of each author separately).

E-mail address for each author.

Contact telephones, (right alignment). (Interval -1.0)

The next line is skipped.

4. Next - Annotation. (Interval - 1.5), only the word Abstract is bold
5. Next - Keywords. (Interval - 1.5), Bold stands out only the phrase keyword.
6. Structure of the article:
- purpose of the study;
- methodology;
- results and discussions;
- conclusions.
7. Literature. (registration of bibliographic lists in accordance with GOST 7.0.5.-2008)

The last page in English is printed:
The title of the article; authors (in full); annotation; keywords, LITERATURE.

NAMES OF THE ARTICLE FILE should contain the name of the author and the first phrase of the title of the article
(SAMPLE: Ivanov, Features of restoring parts ...)
In addition to the article, a review of the published article is submitted to the editorial office.
Materials submitted to the editorial staff are necessarily reviewed by experts on the subject of peer-reviewed materials. Reviews are kept in the publishing house for 5 (Five) years.
The received materials are preliminary examined for compliance with the scientific direction of the publication and the general requirements of the Rules for the provision of the article by the authors. If the rules for granting manuscripts are violated, the article is sent to the author for revision.
THE ORGANIZING COMMITTEE RESERVES THE RIGHT TO NOT INCLUDE MATERIALS SUBMITTED BY THE AUTHORS INCLUDED IN THE COLLECTOR, NOT PURPOSED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFIED REQUIREMENTS
The editors are not responsible for the reliability of the submitted materials. Manuscripts do not return.

Drawing rules:
The drawing must have the format «Jpeg» (in no case should you leave pictures made directly in Word or graphics from Excel).
If the drawings are made in Word, and the graphics in Excel, then copy the picture, open the Paint editor; paste the copied drawing into Paint and save it in Jpeg format. Copy the already saved image and paste it into the article.

Address for sending materials:
E-mail: valpal1938@mail.ru
109428, Moscow, 1-st Institutsky Proezd, Building 1, FGBNU FNAC VIM
with the note «Proceedings of GOSNITI», addressed to the leading employee
of Lyalyakin Valentin Pavlovich.
Telephones for information: 8 (495) 371-21-44;

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

УДК 629.33.063.6

ДВУХТОПЛИВНАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ УАЗ ПАТРИОТ

Сергей Викторович Тимохин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика», e-mail: timohinsv@gmail.com;
Иван Алексеевич Спицын, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Основы конструирования механизмов и машин»;
Павел Владимирович Богатырёв, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», г. Пенза, Российская Федерация
Николай Алексеевич Петрищев, кандидат технических наук

Реферат. *Обоснована актуальность использования в двигателях внутреннего сгорания смесевых растительно-минеральных топлив, в том числе на автомобильных дизелях с аккумуляторной системой питания типа Common Rail. К преимуществам смесевого топлива относится простая технология его приготовления, которая может быть реализована как в стационарных условиях, так и на борту мобильных машин. Приготовление на борту машин имеет ряд преимуществ эксплуатационного и экономического характера, в частности имеется возможность коррекции состава топлива в зависимости от нагрузочного режима и других факторов. Однако известные системы обладают существенными недостатками, такими как нестабильность процентного соотношения и качества смешивания компонентов, изменение штатной схемы и условий работы линий слива, повышенное энергопотребление и др., затрудняющими их практическое использование. Разработана двухтопливная система питания, включающая в себя штатную систему питания дизеля, два электрических подкачивающих насоса, фильтр грубой очистки растительного топлива, смеситель-дозатор периодического действия с датчиком уровня топлива, переключатель рода топлива и блок управления. Исследованиями установлено, что встречное движение потоков топлив в смесителе-дозаторе обеспечивает их быстрое и качественное смешивание. Наличие датчика уровня топлива обеспечивает точность процентного соотношения компонентов ±3%. Периодичность работы электрических подкачивающих насосов способствует увеличению срока их службы и снижению расхода электроэнергии до 20 раз по сравнению с аналогами с постоянно включенными электронасосами подачи компонентов смесевого топлива.*

Ключевые слова: *двухтопливная система питания, дизель, смеситель-дозатор, топливо, датчик уровня, блок управления.*

TWO-FUEL RECHARGEABLE POWER SUPPLY SYSTEM FOR UAZ PATRIOT CAR

Sergey V. Timokhin, Dr.Sc. (Eng.), professor, professor of the department «Tractors, automobiles and heat power engineering»e-mail: timohinsv@gmail.com,

Ivan A. Spitsyn, Dr.Sc. (Eng.), professor, professor of the department «Fundamentals of designing mechanisms and machines»,
Pavel V. Bogatyrev, post-graduate student; Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Penza State Agrarian University»,
Nikolay A. Petrishchev, Ph.D.(Eng)

Abstract. *The actuality of the use of mixed vegetable and mineral fuels in internal combustion engines, including on automobile diesel engines with a common rail battery system, is substantiated. The advantages of blended fuel include a simple technology for its preparation, which can be realized both in stationary conditions and on board mobile machines. Preparation on board the machines has a number of operating and economic advantages, in particular, it is possible to correct the composition of the fuel depending on the loading regime and other factors. However, the known systems have significant drawbacks, such as the instability of the percentage ratio and the quality of mixing components, the change in the staffing scheme and the operating conditions of the drain lines, increased energy consumption, etc., making them difficult to use. A two-fuel power system was developed, including a regular diesel power supply system, two electric pumping pumps, a vegetable fuel coarse filter, a batch mixer with a fuel level sensor, a fuel switch and a control unit. Studies have established that the counter-flow of fuel flows in the mixer-dosing device ensures their rapid and qualitative mixing. The presence of a fuel level sensor provides an accuracy of a percentage of components of ± 3%. The frequency of operation of electric pumping pumps contributes to an increase in their service life and to a reduction of electric power consumption by up to 20 times in comparison with analogues with constantly switched-on electric pumps feeding mixed-fuel components.*

Keywords: *bi-fuel power system, diesel, mixer-metering device, fuel, level sensor, control unit.*

Введение. В связи с сокращением запасов нефти и газа увеличивается интерес к биологическим (растительным) видам топлива, получаемым из семян масличных культур, – рапса, рыжика, подсолнечника, сафлора и др. [1-4]. Непосредственное использование такого топлива вместо минерального дизельного без существенных изменений в системе питания дизеля практически невозможно в связи с большой его вязкостью, затрудняющей прохождение через фильтрующие элементы и ухудшающей качество распыливания топлива форсунками. Плохой распыл топлива ухудшает смесеобразование и, как следствие, ведет к неполноте сгорания, снижению мощности и экономичности дизелей, закоксовыванию распылителей форсунок.

Для предприятий АПК целесообразным является использование смесевых растительно-минеральных топлив, состоящих из чистого растительного масла (покупного или собственного производства) и дизельного топлива, смешанных в требуемой пропорции. К преимуществам смесевого топлива следует отнести простую технологию его приготовления, а к недостаткам – несколько худшие по сравнению с минеральным и биодизелем показатели (в основном по вязкости), а также некоторое снижение номинальной мощности дизеля (до 8-10%) по мере увеличения доли растительного топлива. Приготовление смесевых топлив может осуществляться как в стационарных условиях, так и на борту мобильных машин. Приготовление смесевых

топлив на борту машин имеет ряд преимуществ эксплуатационного и экономического характера, однако требует существенной доработки систем питания дизелей. Известны примеры таких систем для тракторных дизелей [1, 5, 6], но для автомобильных, с аккумуляторной системой питания, таких систем не выявлено.

Цель исследований. Разработка и исследование двухтопливной аккумуляторной системы питания для автомобиля УАЗ Патриот, обеспечивающей возможность оперативной коррекции состава смесевого топлива в зависимости от нагрузочного режима, качественное дозирование и смешивание компонентов.

Материалы и методы. При проведении теоретических исследований использовались патентно-информационный анализ состояния вопроса, основные положения теории ДВС, электротехники и электроники, гидравлики и конструкции автомобилей.

При проведении экспериментальных исследований использовались методы макетирования и физического моделирования объектов, прямые и косвенные методы измерений контролируемых параметров. В качестве растительного компонента смесевого топлива использовалось сафлоровое масло (СафМ). Точность процентного соотношения компонентов смесевого топлива определялось путём взвешивания технологических топливных баков в последовательных циклах работы системы. Качество смешивания компонентов определялось путём последовательного отбора элементарных, фиксированных по объёму, проб смесевого топлива с линии слива из головки ТНВД с последующим их взвешиванием и расчётом процентного содержания компонентов.

В качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение о возможности и целесообразности работы дизелей с аккумуляторной системой питания на смесевом растительно-минеральном топливе, поскольку высокое давление впрыска данной системы обеспечит хорошее распыливание вязкого смесевого топлива, оптимальное протекание рабочего процесса дизеля и паспортное значение номинальной мощности.

Электронное управление углами и величиной цикловой подачи топлива решает проблему обеспечения паспортных значений мощности дизеля при различном соотношении компонентов смесевого топлива. Кроме этого повышенная вязкость такого топлива может продлить срок службы дорогостоящих элементов этой системы (ТНВД и форсунок) в связи с лучшей смазывающей способностью и меньшими утечками через зазоры.

Возможность получения паспортного значения номинальной мощности дизелей при их работе на смесевом топливе теоретически обосновывается тем, что энергетическая ценность одной и той же объемной дозы (цикловой подачи) чистого СафМ всего на 3,4% меньше аналогичного показателя минерального (ДТ), а у смесевого топлива с объемным соотношением компонентов 50% СафМ+50% ДТ эта разница составляет только 2% [1].

Проведенный патентно-информационный анализ двухтопливных систем питания дизелей показал наличие систем, использующих как готовое смесевое топливо, так и приготовленное на борту машин [7-9]. Системы с приготовлением смесевого топлива на борту имеют возможность коррекции ее состава в зависимости от нагрузочного режима и других факторов и более удобны в эксплуатации.

Вместе с тем известные системы такого типа, содержащие дозаторы и смесители растительного и минерального компонентов непрерывного действия, обладают существенными недостатками, такими как нестабильность процентного соотношения и качества смешивания компонентов, изменение штатной схемы и условий работы линий слива, повышенное энергопотребление и др., затрудняющими их практическое использование [8].

Для устранения указанных выше недостатков нами ранее была разработана двухтопливная система питания со смесителем-дозатором периодического действия, прошедшая стендовые и полевые испытания на тракторном дизеле [9]. Положительные результаты испытаний, обоснованная выше перспективность использования растительно-минеральных смесевых топлив, а также конструктивные особенности системы питания автомобиля УАЗ Патриот с дизельными двигателями IVECO F1A и ЗМЗ 51432 (наличие двух топливных баков, подкачивающего электронасоса, подогревателя топлива, современная аккумуляторная система впрыска топлива высокого давления типа Common Rail) явились основанием разработки аналогичной системы для данного автомобиля.

Структурная гидравлическая схема системы (рис. 1) содержит баки минерального (дизельного) и растительного топлив (БМТ и БРТ), первый (ФГО1) и второй (ФГО2) фильтры грубой очистки топлива, первый (ЭПН1), второй (ЭПН2) и третий (ЭПН3) электрические подкачивающие насосы, смеситель-дозатор (СД) периодического действия, двухсекционный переключатель рода топлива (ПРТ), штатные подогреватель топлива (ПТ), фильтр тонкой очистки топлива (ФТО), топливный насос высокого давления (ТНВД), топливную рампу (ТР), электроуправляемые форсунки (ЭФ), а также линии подачи растительного 1, минерального 2 и смесевого 3 топлив, линию слива топлив 4 и воздушную линию 5.

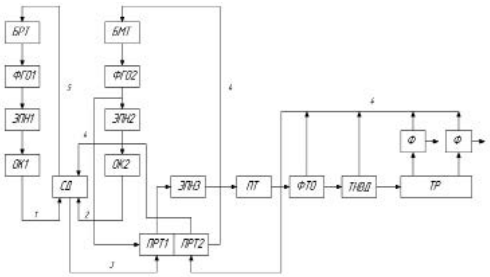


Рисунок 1. Структурная гидравлическая схема двухтопливной системы питания автомобиля УАЗ Патриот

В штатном режиме работы на дизельном топливе оно из БМТ через ФГО2 и ПРТ1 поступает на вход ЭПН3, с него через подогреватель ПТ и ФТО – на ТНВД. С выхода ТНВД, топливо под высоким (до 200 МПа) давлением поступает в топливную рампу ТР (гидроаккумулятор) и с нее на форсунки Ф и далее в камеры сгорания ДВС. Топливо с форсунок, ТНВД и ФТО (при прокачке системы) по линии слива 4 через ПРТ2 подается в БМТ.

При работе на смесевом топливе ЭПН1 и ЭПН2 поочередно, по сигналам датчика уровня 1 СД (рис. 2) и блока управления, подается топливо в СД, где оно дозируется и смешивается. Смесевое топливо из СД через ПРТ1 подается к входу в ЭПН3 и далее, по штатной схеме в ДВС. Слива-

емое смесевое топливо в этом режиме переключателем рода топлива ПРТ 2 направляется в СД. Слив подогретого смесевого топлива в СД повышает его температуру и снижает вязкость, улучшая работу ТНВД и качество его распыла в камере сгорания.

При работе на смесевом топливе ЭПН1 и ЭПН2 поочередно, по сигналам датчика уровня 1 СД (рис. 2) и блока управления, подается топливо в СД, где оно дозируется и смешивается. Смесевое топливо из СД через ПРТ1 подается к входу в ЭПН3 и далее, по штатной схеме в ДВС. Сливаемое смесевое топливо в этом режиме переключателем рода топлива ПРТ2 направляется в СД. Слив подогретого смесевого топлива в СД повышает его температуру и снижает вязкость, улучшая работу ТНВД и качество его распыла в камере сгорания.

Структурная электрическая схема блока управления (БУ) двухтопливной системы питания дизеля приведена в описании патента №153246 РФ [10]. Основными элементами БУ являются задатчик состава смесевого топлива (ЗСТ), два электронных инвертирующих ключа, три ключа-защелки и генератор пускового импульса. Входы БУ связаны с многопозиционным датчиком уровня топлива в СД, а выходы – с электронасосами ЭПН1 и ЭПН2.

Смеситель-дозатор периодического действия (рис. 2) с многопозиционным (трехпозиционным) датчиком уровня топлива 1 содержит корпус 2 цилиндрической формы, на внутренней стороне нижней крышки которого (в ее периферийной части) диаметрально противоположно установлены первая 4 и вторая 5 форсунки с направленными в одну сторону (встречно) и тангенциально к диаметру сосуда выходными отверстиями. Оси отверстий расположены в горизонтальной плоскости, на высоте, меньшей высоты минимального (нижнего) уровня топлива в смесителе-дозаторе. Входы форсунок 4 и 5 подключены к входным штуцерам 6 и 7, расположенным на внешней стороне нижней крышки 3, на которой также размещен выходной штуцер 8. На верхней крышке 9 размещены штуцеры 10 и 11, и штыревой разъем и элементы многопозиционного датчика уровня топлива 1.

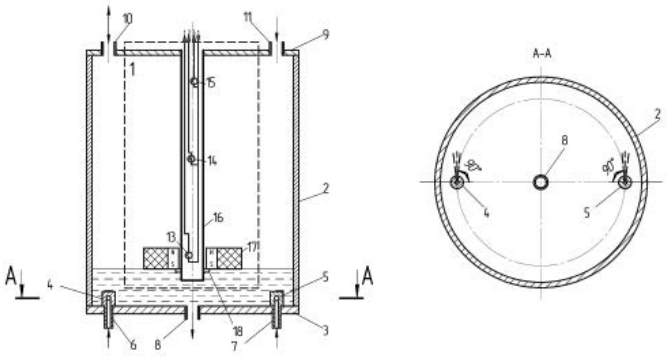


Рисунок 2. Смеситель-дозатор накопительного типа с многопозиционным датчиком уровня топлива

Поплавковый герконовый датчик уровня топлива 1 содержит три магнито управляемых контакта (геркона) 13-15, расположенных внутри вертикальной немагнитной трубки 16 соответственно на нижнем, промежуточном и верхнем уровнях. Трубка 16 заглушена снизу и имеет немагнитное коль-

цо-упор 18, ограничивающее перемещение поплавка-магнита 17 на нижнем уровне, соответствующем минимальному объёму топлива в смесителе-дозаторе.

Состав формируемой смеси определяется положением промежуточных герконов (14) и не зависит от режима работы дизеля, что обеспечивает точность заданного процентного соотношения компонентов. Для получения нескольких значений процентных соотношений смесевого топлива в трубку датчика устанавливают нужное количество промежуточных герконов на требуемых уровнях и подключают их выходы к штыревому разъему датчика.

Качество смешивания компонентов обеспечивается за счет высокой скорости впрыска растительного топлива во вращающийся столб минерального во встречном направлении.

Рукоятка ЗСТ располагается на передней панели БУ, размещаемого в удобном для водителя месте.

Двухсекционный двухходовой переключатель рода топлива может быть как с ручным, так и с электромагнитным управлением. Во втором случае уменьшается длина трубопроводов и повышается удобство управления системой, но несколько возрастает энергопотребление. В этом случае задавать род топлива и процентное соотношение смесевого топлива можно одной рукояткой ЗСТ исходя из нагрузочного и температурного режимов дизеля, количества топлива в баках и т.п.

После изготовления макетного образца системы были проведены экспериментальные исследования с целью определения фактических значений ее основных параметров.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований установлено, что для процентного состава смесевого топлива 50% на 50% время заполнения рабочего объема смесителя (1 л) дизельным топливом и сафлоровым маслом составляет 20 сек. (при стабилизированном напряжении питания электронасосов 14В). При скорости движения УАЗ – 3163, равной 90 км/час, путевом расходе 10 л/час и часовом 9 л/час система включится 9 раз за один час работы, при этом суммарное время работы электронасосов составит 180 секунд. Коэффициент рабочего времени составит 5%, а расход электроэнергии 2,1 Ватта в час. По сравнению с аналогами с постоянно включенными электронасосами подачи топлив время их работы и расход электроэнергии будет в 20 раз меньше. При меньших скоростях и расходах топлива эта разница будет еще больше.

Качество смешивания компонентов, оцениваемое по отклонению их процентного содержания в последовательных элементарных пробах смесевого топлива от заданного, составило не более ±3%.

Выводы. Разработанная двухтопливная система питания дизеля автомобиля УАЗ Патриот обеспечивает возможность оперативной коррекции его состава в зависимости от нагрузочного режима качественное дозирование и смешивание компонентов. Периодичность работы электрических подкачивающих насосов способствует увеличению их срока службы и снижению расхода электроэнергии до 20 раз по сравнению с аналогами с постоянно включенными электронасосами подачи компонентов смесевого топлива.

Библиографический список

1. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологичеси-

ке и экономические показатели дизеля. Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля. Луганск, 2009. 240 с.

2. Walker D. A. Biofuels, facts, fantasy, and feasibility. J. Appl. Phycol. V. 21. 2009. P. 509-517.

3. Марков В. А., Иващенко Н. А., Девянин С. Н., Нагорнов С. А. Использование биотоплива на основе растительных масел в дизельных двигателях // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. N10 (10). С. 8.

4. Марков В. А., Нагорнов С. А., Девянин С. Н. Использование смесей нефтяного дизельного топлива с растительными маслами и их эфирами в дизелях // Грузовик. 2011. N7. С. 36-46.

5. Тимохин С.В., Богатырев П.В., Кашавин В.А., Пеликов В.В., Епифанов В.В. Анализ методов и средств диагностики системы питания дизелей типа Common Rail // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Сборник Международной научно-практической конференции 23-24 марта 2017. Т 3. Пенза: РИО ПГАУ, 2017. С. 26-28.

6. Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Голубев И.Г. Использование биологических добавок в дизельное топливо: науч. аналит. обзор. М.: Росинформагротех. 2007. 20 с.

7. Патент №2443887 РФ. Система питания автотракторного дизеля / Савельев Г. С., Кочетков М.Н. 2012, Бюл. N 6.

8. Патент №2387867 РФ. Двухтопливная система тракторного дизеля / Уханов А.П., Уханов Д.А., Рачкин В.А., Иванов В.А. 2010. Бюл. N12.

9. Тимохин С.В., Адгамов И.Ф. Двухтопливная система питания дизеля со смесителем-дозатором периодического действия // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Сборник Международной научно-практической конференции молодых ученых 17-18 марта 2016. Т 3. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. С. 21-24.

10. Патент №153246 РФ. Двухтопливная система питания дизеля / Тимохин С. В., Адгамов И. Ф., Шаронов Г. И., Тимохин А. С. 2015. Бюл. N19.

11. Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Горячев С.А. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК // ГОСНИТИ. М.: 2012. 399С.

References

1. Vasiliev I.P. The influence of vegetable fuels on the environmental and economic performance of diesel. East Ukrainian National University. Vladimir Dal. Lugansk, 2009: 240. (In Russian)

2. Walker D. A. Biofuels, facts, fantasy, and feasibility. J. Appl. Phycol. V. 21. 2009: 509-517. (In English)

3. Markov V.A, Ivashchenko N.A., Devyanin S.N., Nagornov S.A. Use of biofuel based on vegetable oils in diesel engines // Engineering Journal: Science and Innovation. 2012; 10: 8. (In Russian)

4. Markov V.A., Nagornov S.A., Devyanin S.N. Use of mixtures of petroleum diesel fuel with vegetable oils and their esters in diesel engines // Truck. 2011; 7: 36-46. (In Russian)

5. Timokhin S.V., Bogatyrev P.V., Kashavin V.A., Pelikov V.V., Epifanov V.V. Analysis of methods and means of diagnostics of the power supply system for diesel engines of the Common Rail type // Innovative ideas of young researchers for the Russian agro-industrial complex: coll. mat. all-Russia. scientific-prak. Conf. March 23-24, 2017. Penza: RIO of PGAU, 2017; 3: 26-28. (In Russian)

6. Fedorenko V.F., Buklagin D.S., Nagornov S.A., Zazulya A.N., Golubev I.G. Use of biological additives in diesel fuel: scientific. analyte. overview. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2007: 20 (In Russian)

7. Patent N2443887 of the Russian Federation. Power supply system of an autotractor diesel engine / Saveliev G.S., Kochetkov M.N. 2012, Byul. N 6. (In Russian)

8. Patent N2387867 of the Russian Federation. Two-fuel system of a tractor diesel engine / Ukhanov A.P., Ukhanov D.A., Rachkin V.A., Ivanov V.A. 2010. Byul. N12. (In Russian)

9. Timokhin S.V., Adgamov I.F. Two-fuel diesel power system with a mixer-batcher of periodic action // Innovative ideas of young researchers for the Russian agro-industrial complex: Sat. Art. Intern. scientific-practical. Conf. Young Scientists March 17-18, 2016. Penza: RIO of PSA, 2016; 3: 21-24. (In Russian)

10. Patent N153246 of the Russian Federation. Two-fuel diesel power supply system / Timokhin S.V., Adgamov I.F., Sharonov G.I., Timokhin A.S. 2015. Byul. N19. (In Russian)

11. Chernoivanov V.I., Fedorenko V.F., Lyalyakin V. P., Solovyov R.Yu., Goryachev S.A. The innovation methods of increase in postrepair reliability of agricultural machinery and investment attractiveness of the repair servicing agrarian and industrial complex enterprises//M.: GOSNITI, Moscow, 2012. 399C.

УДК 62-7/-78; 62-5

АКТИВАЦИЯ ТОПЛИВА УМЕНЬШАЕТ ДЫМНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Юрий Валентинович Воробьев, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация;
Анатолий Васильевич Дунаев, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, dunaev135@mail.ru, Российская Федерация

Проведены разработки, стендовые моторные, хроматографические, хим-мото-логические, экологические, эксплуатационные испытания двигателей КамАЗ-740, ЗМЗ-406, ЯМЗ-236, восьми марок отечественных и импортных бензинов, трех марок дизельного топлива при пропускании их через комбинированный статический смеситель-активатор по патенту РФ № 2411074 на стабильность, эффективность, необратимость активации дизельного топлива, бензина, авиакеросина, рапсового масла. При активации облегчается фракционный состав топлив, модификация продолжается и после выхода их из активатора, а добавка доли активированного топлива в не активированное повышает в смеси долю активированного, аналогично известной активации воды. Активация топлив обеспечивает снижение дымности отработавших газов дизелей, токсичность отработавших газов бензиновых двигателей, уменьшается температура замерзания топлив, они очищаются от смол, серы. Уменьшение дымности отработавших газов дизелей замечено визуально на многих автотракторных дизелях, а инструментально измерено с помощью дымомера МЕТА-01 на дизеле КамАЗ-740 автобуса НефАЗ-5299. Сущность механохимических процессов в смесителе-активаторе не известна, хотя предпосылки к её обоснованию имеются. А ее эффективность подтверждена не только автором активатора, но и более чем 80-летними испытаниями гаммы магнитных, электромагнитных и кавитационных активаторов в развитых странах. На основании авторских испытаний смесителя-активатора предложена его широкая апробация на автотракторных двигателях внутреннего сгорания, государственные испытания, сертификация. При положительных испытаниях будет возможно опытно-промышленное производство активатора, его использование на различных автотракторных двигателях, на автозаправочных станциях, в промышленных топочных устройствах.

Ключевые слова: *механо-химия, топливо, перемешивание, кавитация, диспергирование, легкие фракции, отработавшие газы, дымность.*

ACTIVATION OF THE FUEL REDUCES THE SMOKE EXHAUST GASES OF AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES

Yuri V. Vorobyov, doctor of technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of TMM and DM;
Federal state budgetary educational institution of higher education Tambov state technical University, Sovetskaya str., 106, Tambov, 392000, Russian Federation;
Anatoliy Dunaev, doctor of technical Sciences, senior scientific employee,
leading scientific employee, dunaev135@mail.ru,
Federal agricultural research centre VIM, Russian Federation

Conducted development, bench motor, chromatographic, hematologically, environmental, and operational tests of engines KamAZ-740, ZMZ-406, YAMZ-236, eight brands of domestic and imported gasoline, three grades of diesel fuel by passing them through a combined static mixer-activator according to the patent of Russian Federation № 2411074 on the stability, efficiency and irreversibility of the activation of diesel fuel, gasoline, jet fuel. At the same time, the fractional composition of fuels is facilitated, the modification continues after their release from the activator, and the addition of the share of activated fuel in the non-activated increases the share of activated, similarly to the known activation of water. Activation of fuels reduces the fluidity of the exhaust gases of diesel engines, the toxicity of exhaust gases of petrol engines, reduces the freezing temperature of fuels, they are cleaned of resins, sulfur compounds. Reducing the smoke exhaust gases of diesel engines seen visually on many automo-tive diesel engines, and instrumental measured with a smoke meter META-01 diesel Kam-AZ-740 bus NefAZ-5299. The essence of mechanochemical processes in the mixer-activator is not known, alth-oughugh the prerequisites for its justification are available. And its effectiveness is confir-med not only by the author of the activator, but also by more than 80-year tests of the ran-ge of magnetic, electromagnetic and cavitation activators in developed countries. On the basis of author's tests of the mixer-activator its wide approbation on autotractor engines of internal combustion, the state tests, certification is offered. With positive tests, it will be possible to pilot-industrial production of the activator, its use on various motor-tractor engines, gas stations, in industrial furnace devices.

Keywords: *mechano-chemistry, fuel, mixing, cavitation, dispersion, light fractions, exhaust gases, smoke.*

Введение.

Экологические свойства двигателей внутреннего сгорания постоянно улучшаются самыми различными методами и средствами [1-4]. В этом во всем мире ведется постоянная работа создателей моторов высоко технологичной модернизацией их топливных систем, а также и эксплуатационниками. Создано обилие самых разных конструкций нейтрализаторов отработавших газов (ОГ), их рециркуляции во впускной воздушный тракт, изменялись настройки топливной аппаратуры дизелей, систем подачи дополнительного воздуха, водорода, аммиака, паров воды, мочевины, электрического воздействия и другое. В НИИ и вузах ведутся исследования по использованию смесей топлив с метанолом, спиртами, рапсовым маслом, биогазом, природным газом, водотопливными эмульсиями [1-5].

В РФ защищено несколько докторских и не мало кандидатских диссертаций на методы и средства уменьшения токсичности ОГ ДВС. Перспективным для дизелей является использование водотопливных эмульсий, их газо-дизельная модификация. По этим направлениям работают многие моторные заводы и ведущие НИИ многих стран, в России – НАМИ по применению водорода, а Кировская и Рязанская сельхозакадемии – по другим методам[1-4]. В Европе интенсивно, по программе «голубая жидкость» на основе мочевины работают все автозаводы. Большинством развитых государств постоянно ужесточаются экологические требования к ДВС. Заводы Белоруссии и ПАО КамАЗ уже несколько лет назад переводят выпускную систему дизелей на ввод паров мочевины.

Особенно большое внимание снижению токсичности и дымности ОГ уделяется для дизелей машин, работающих в условиях ограниченного воздухообмена: в шахтах, теплицах, животноводческих и подобных помещениях [3]. Однако все мероприятия по улучшению экологичности ДВС существенно усложняют их конструкцию, повышают стоимость, снижают надежность, ресурс, топливную экономичность. Но в то же время имеются другие, простые методы уменьшения дымности дизелей, например, путем магнитного, триботехнического, а также механо-химического воздействия на молекулы моторных топлив [6-12].

Наиболее известна магнитная активация топлив, улучшающая и экологичность дизелей, но за пределами магнитных полей изменения топлив обратимы, что ограничивает их использование. Все же магнитная обработка топлив используется с довоенных времен в Германии, в США – с освоением космоса (фирма «Макдоннелл-Дуглас»), с 70-х гг. применяется и в других сферах. Так Венгерская фирма «Бионет» давно выпускает прибор «Мастер бернер» для ДВС и газовых котлов, в Германии – магнетизеры топлива «MagnoFuel», «FuelFree» и другие, вышедшие на широкий рынок РФ. Аналогичны приборы Японии. Магнитную обработку ведут на Украине фирмы НПФ «ЭКОВОД», ЦНИЛ АО «Укрнефть» (патенты Украины № 25228, 34142), в РФ – фирмы «ДС технология», НПО «ММТ», ООО «Фирма Флеттер», «Экомаг» [6] и др. Срок окупаемости устройств 1-2 месяца.

Эффективность обработки топлив доказана многими стендовыми испытаниями, например, активатора «ЭКОМАГ-7Г» в НАМИ – ИЦАИ (протоколы: №37/7/2243-45 от 19.11.92 г., №605/7/3820-22, №3827-29 от 25.07.95 г., а также на Московском НПЗ) [6]. Здесь содержание СО и СН снижалось на 70-80%, NOx – на 15-20%, было уменьшение закоксованности ДВС, повышение срока службы нейтрализаторов ОГ, свечей зажигания.

Аналогично «Экомагу» до 1996 г. в ГОСНИТИ к.т.н. Каракозовым Н.А. производился «Очиститель-катализатор топлива» [6]. Его особенность: до и после кольцевого магнита установлены улитки со спиралями Архимеда, создающие обтекание топливом плоскостей магнита с обеих его сторон. Этот катализатор испытан нами в 1998 - 2001 гг. в АТП СП «Эрдэнэт» на автомобиле УАЗ-452. За неделю работы автомобиля экономия бензина составляла 10 л.

Известны многие серийные магнитные, электромагнитные средства обработки топлив: прибор «ММТ-БД» от ООО «НПО ММТ» (С.-Петербург) по ТУ 3116-001-64233488-2010, сертифицированный в РФ и в ЕС; «Катализатор топливный физический «ТОНУС» по ТУ У 343 14115698-003-

2001; «Электронный каталитический преобразователь топлива» (ЭКТ) инж. ФГБНУ ВИЭСХ Евграфова И.В. для резонансной обработки бензина, дизтоплива. Принцип работы ЭКТ по автору: резонансное воздействие электромагнитных полей на углеводороды, разрыв их молекул, образование свободных радикалов. В ЭКТ, как и в активаторе, также осаждается сера [11].

Сложным является устройство по Пат. РФ № 2296238, где имеется электромагнитная обмотка, а внутри – металлические шарики: совмещены электромагнитная обработка и трибоэлектризация [10]. По разработчику материалы устройства с одинаковой поляризационной ориентацией имеют большую диэлектрическую постоянную, чем углеводороды. Недавний активатор – устройство для комбинированной магнитной обработки жидкости по патенту ФГБНУ ВИЭСХ №2554195. В нем три блока постоянных магнитов, а на входе и выходе установлены электромагниты с катушками Гельмгольца и компенсаторами реактивной мощности.

В углеводородах, обработанных электрическими и магнитными полями, изменяются физико-химические свойства и межмолекулярные взаимодействия: поверхностное натяжение, вязкость, плотность, температура вспышки и др.

С другой стороны, в 1887 г. была выявлена механохимия деструкции углеводородов при приложении механических сил. Даже на участках, где химические связи прочны, возможны разрывы молекулярных цепей механическими напряжениями свыше предела прочности атомных связей [13]. Следствие механо-химии не только деструкция цепей углеводородов, но и появление свободных валентностей углерода и радикалов $R\text{-}CH_2$ – с высокой реакционной способностью, хотя изменения могут быть и обратимыми.

Исследуемый активатор проверен хроматографией 11 марок топлив, контролем их расхода и выброса вредных веществ в ОГ дизелей [11, 12]. Так хроматограммы активированного дизельного топлива показали уменьшение доли тяжелых углеводородов и увеличение легких: гексана, гептана, 3метил-пентана до 37%, снижение содержания серы с 0,032 до 0,015%, смол с 7,4 до 0,8 мг/100 мл. А испытания в Rochester Institute of Technology (США) показали уменьшение выбросов в ОГ: NO – до 17%, NO_2 – до 14%, а CO – до 49%.

Используемая в нефтепереработке механохимия проста по процессу и оборудованию с низкой энергоемкостью. Она деструктирует их с образованием низкомолекулярных гомологов, а также, водорода и углерода с осаждением серы.

Отличительная особенность механохимии: преобразования углеводородов продолжаются и с выходом топлив из активатора.

Результат деструкции углеводородов: чем больше в топливе легких фракций, тем лучше его испаряемость, равномернее состав рабочей смеси, что уменьшает дымность ОГ и выход NOx. Однако высокое цетановое число топлив, зависящее от фракционного состава, уменьшая период задержки воспламенения, жесткость работы и давление сгорания, оказывает сложное влияние на образование токсичных компонентов и сади (дыма). На малых и средних нагрузках высокое цетановое число способствует уменьшению выброса NOx и CH, а на больших в некоторых случаях – повышению дымности ОГ.

Цель исследований – обобщение результатов механохимической актива-

ции дизельных топлив и проверка уменьшения активатором дымности ОГ автотракторных дизелей.

Материалы и методы. В исследовании использованы усовершенствованный комбинированный статический смеситель-активатор по патенту РФ № 24110-74, летнее дизельное топливо по ГОСТ 305, дымомер МЕТА-01, которым по режиму, предписанному при его использовании, измерялась дымность отработавших газов дизеля КамАЗ-740 автобуса НефАЗ-5299.

Результаты и обсуждение. Для механохимии углеводородов могут использоваться четыре разных активатора РФ, их серия на Украине (Пат. №25228, 34142). Здесь же исследован усовершенствованный комбинированный статический смеситель-активатор по патенту РФ № 2411074 [11, 12].

Механо-химический активатор (рисунок 1) в цилиндре длиной 150 мм, диаметром 30-40 мм с тремя, камерами встраивается в любую топливную систему ДВС, не требует привода, не содержит химических веществ, не ухудшает показатели бензина, дизтоплива, авиационного керосина, рапсового масла, не уменьшает ресурс ДВС.

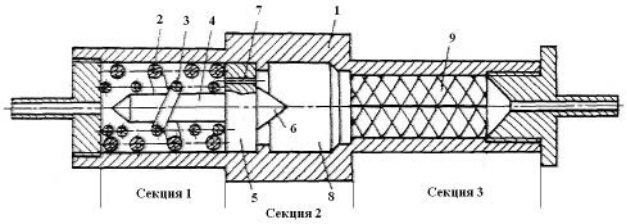
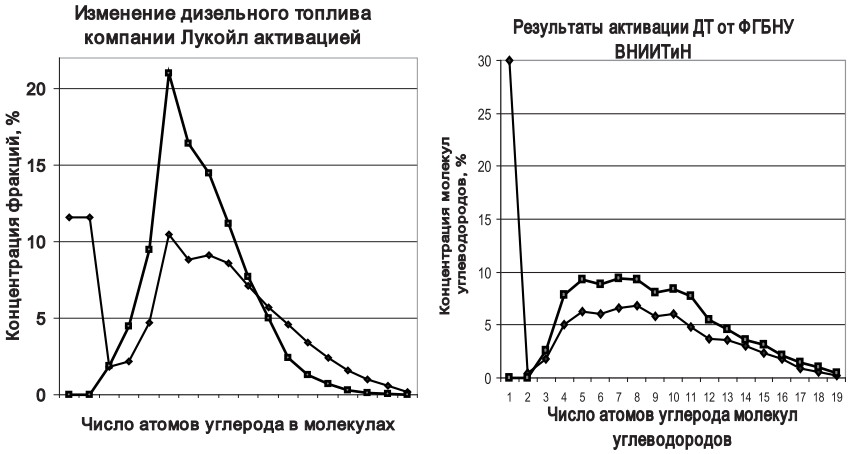


Рис. 1. Схема активатора: 1 – корпус; 2 и 3 – винтовые элементы; 4 – цилиндрический стержень; 5 – диск; 6 – конус; 7 – каналы; 8 – промежуточная камера; 9 – смесительный элемент из перекрещивающихся решеток

Предварительно активатором проверена деструкция различных дизельных топлив и некоторые ее результаты приведены на рисунке 2.



а *б*

Рис. 2. Состав компонентов дизельного топлива до активации и после неё: а – дизельное топливо, представленное ФГБНУ ВНИИТиН; б – то же, компании «Лукойл»; в обоих случаях разрушаются тяжелые и в большом количестве образуются легкие фракции (данные с хроматографа Кристаллюкс-4000М Тамбовской лаборатории судебной экспертизы),

Проведена удачная проверка активатора на улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлив, а главное – экологичности дизелей.

Так, например, контроль оператором техосмотра ООО «Контроль-автоцентр» (номер в реестре операторов техосмотра № 00255) на пункте технического осмотра (г. Тамбов, ул. Мичуринская, 48, Свидетельство о регистрации 68УХ № 786571 МОГТОР АМТС от 27.09.2011) усовершенствованного активатора на дизеле КамАЗ-740 автобуса НефАЗ-5299 по режиму, предписанному при использовании дымомера МЕТА-01, показал уменьшение дымности ОГ дизеля с 3,5 до 2,7 м-1 (с 77,8 до 68,9%), то есть с недопустимого, до разрешаемого в эксплуатации уровня.

Выводы.

Механо-химические, магнитные и электромагнитные воздействия на моторные топлива, известные, но малораспространенные, подлежат широкому применению на автотракторной технике.

Активатор по патенту №2411074 апробирован на ДВС разных импортных и отечественных автомобилей и может устанавливаться на любые самоходные машины АПК. Достоинство механоактивации – ее необратимость, что может использоваться и в производстве топлив по нормам документов ЕВРО-4 и ЕВРО-5. Причем, разные нефтепродукты доводятся до одинаковых показателей.

Активированные топлива повышают ресурс дизелей за счет меньшей жесткости их работы, легкого пуска при низких температурах и уменьшения нагарообразования. Все же, для широкого узаконенного применения активатора желательны его государственные испытания, например, в соответствии с ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» и ГОСТ 20306-90 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний».

Библиографический список

1. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. М.: Россельхозиздат, Москва, 1991. 212 с.

2. Гетманец Г.В., Лиханов В.А. социально-экологические проблемы автомобильного транспорта. М.: АСПОЛ. 1993. 330 с.

3. Тришкин И.Б. Способы и технические средства снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей мобильных энергетических средств при работе в помещениях сельскохозяйственного назначения. Мичуринск-Наукоград, 2014. 40 с.

4. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Трактор с комплексной системой снижения токсичности. Строительные и дорожные машины. 2016. N3. С. 10-15.

5. Савельев Г.С. Применение газомоторного и биодизельного топлив в автотракторной технике. Монография. М.: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2009. 213 с.

6. История одного изобретения. М.: ТехноМИР, 2001. N2 (8). С. 38-39.

7. http://www.fuelmax.lv/modem/index.php.

8. Патенты Украины N25228, 34142.

9. Дураджи В.Н., Дураджи Ю.В. Патент РФ N 2301348, Способ уменьшения вредных выбросов с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания.

10. Микипорис, Ю.А. Улучшение экологических показателей автомобильных двигате-лей электромагнитной обработкой топлива. Ковров: КГТА, 2008. 168 с.

11. Воробьев Ю.В., Тетерюков В.Б. Пат. РФ N 2411074. Комбинированный статический смеситель-активатор.

12. Воробьев Ю.В., Ломовских А.Е., Басарев М.В., Дунаев А.В. Устройство для

механо-химической обработки и снижения расхода углеводородного топлива. Тракторы и сельхозмашины, 2015. N1. С. 21-22.

13.Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. 472 с.

14. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Инновационные проекты и разработки в области технического сервиса // М.: Росинформагротех. 2010. 95 С.

References

1. Likhanov V.A., Saykin A.M. Reduction of toxicity of automotive diesel engines.: Rosselkhozizdat, Moscow: 1991. 212 p.

2. Getmanets G.V., Likhanov V.A. Socio-environmental problems of road transport. M.: ASPOL. 1993. 330 p.

3. Trishkin I.B. Methods and technical means of reducing the toxicity of exhaust gases of diesel engines mobile power tools when working in the premises for agricultural purposes. Avtoreferat doctor. Diss.- Michurinsk-Naukograd, 2014. 40 c.

4. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Tractor with an integrated system of reducing toxicity. Construction and road machines. 2016. N 3. P. 10-15.

5. Savel'ev G.S. The Use of NGV and biodiesel fuels in automotive engineering. Monograph. M.: GNU VIM RAAS, 2009. 213 p.

6. The history of one invention. M: TechnoMir, 2001.- N 2 (8). P. 38-39.

7. http://www.fuelmax.lv/modem/index.php.

8. The Patent of Ukraine N. 25228, 34142.

9. Duragi V.N, Duragi Y.V. Pat. of the Russian Federation N 2301348. Way to reduce harmful emissions from exhaust gases of internal combustion engines.

10. Mikiporis Yu.A. Improving the environmental performance of car engines with an electromagnetic fuel treatment. KGTU, 2008. 168 p.

11. Vorobiev Y.V., Teterukov V.B. Pat. of the Russian Federation №. 2411074. Combo static mixer-activator.

12. Vorobiev Y.V., Lomovsky A.E., Basarev M.V., Dunaev A.V. Device for mechano-chemical treatment and reduction of consumption of fossil fuels. Tractors and agricultural machinery, 2015. N. 1.- P. 21-22.

13. Akhmatov A.S. Molecular physics of boundary friction. - M.: Fizmatgiz, 1963. 472 p

14. Chernoivanov V.I., Lyalyakin V. P., Golubev I.G. The innovation projects and developments in the field of technical service//M.: Rosinformagrotekh, 2010. 95 C.

УДК 621.521

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СЕРИЙНЫХ И МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ПАР ТРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ В БЕЗАБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ

Николай Александрович Марьин, кандидат технических наук;
Роман Владимирович Павлюк, кандидат технических наук, доцент;
Антон Викторович Захарин, кандидат технических наук, доцент;
Павел Анатольевич Лебедев, кандидат технических наук, доцент;
Юрий Иванович Жевора, кандидат экономических наук, доцент;
Анатолий Тимофеевич Лебедев, доктор технических наук, профессор;
Ставропольский Государственный аграрный университет, Российская Федерация, e-mail: t707oa@rambler.ru

Реферат. *В настоящее время вакуумную технику широко используют различных отраслях промышленности. Основным элементом любой вакуумной системы, как правило, является механический вакуумный насос. Основной причиной их отказов является неудовлетворительная работа основных пар трения. При этом для ряда технологических процессов недопустимо наличие примесей (в том числе и абразивных частиц и продуктов износа) в рабочей среде. С этой целью в технологических линиях устанавливаются различные виды фильтров. Поэтому работы направленные на определение износостойкости основных пар трения механических вакуумных насосов в безабразивных условиях представляют научный и практический интерес. Для проведения многофакторного эксперимента были взяты пары трения «чугун-текстолит», «чугун-фторопласт», «текстолит-фторопласт». В качестве параметра оптимизации (функция отклика) была выбрана скорость изнашивания пар трения, в зависимости от скорости относительного перемещения и давления в зоне контакта. После обработки данных, полученных в ходе эксперимента были получены функции отклика параметра оптимизации, представляющие собой полиномы первой степени. Анализ полученных закономерностей износа показал, что с ростом давления в зоне контакта и скорости относительного перемещения скорость изнашивания увеличивается во всех исследуемых парах трения, как со смазкой, так и без нее. Однако следует отметить тот факт, что скорость изнашивания в парах трения с фторопластом значительно ниже, чем в паре трения «чугун-текстолит» в 2,5-3 раза. Таким образом, проведенные исследования показали, что пары трения «чугун-фторопласт» и «текстолит-фторопласт» более износостойки при изменении скорости относительного перемещения и давления в зоне контакта, чем пара трения «чугун-текстолит», в условиях отсутствия абразива. Использование материала фторопласт – 4 является перспективным в качестве материала для поверхностей пар трения не только механических вакуумных насосов, но и для других ротационных машин работающих в схожих условиях.*

Ключевые слова: *абразив, пары трения, износостойкость, смазка, трение.*

INVESTIGATION OF WEAR-RESISTANCE OF SERIAL AND MODERNIZED FRICTION FRAMES OF MECHANICAL VACUUM PUMPS IN A NON-FREE ENVIRONMENT

Nikolay A. Marin
Candidate of Technical Sciences, art. Teacher of the department
Roman V. Pavlyuk
candidate of technical sciences, associate professor,
Assistant Professor of the Department
Anton V. Zakharin
candidate of technical sciences, associate professor,
Assistant Professor of the Department
Pavel A. Lebedev
candidate of technical sciences, associate professor,
Assistant Professor of the Department
Yury I. Zhevora
candidate of economic sciences, associate professor, professor of the department
Anatoly T. Lebedev
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, department «Technical service, standardization and metrology»

Abstract. *Currently, vacuum technology is widely used in various industries. The main element of any vacuum system, as a rule, is a mechanical vacuum pump. The main reason for their failure is the unsatisfactory performance of the main pairs of friction. At the same time for a number of technological processes, the presence of impurities (including abrasive particles and wear products) in the working environment is unacceptable. For this purpose, different types of filters are installed in the process lines. Therefore, the work aimed at determining the wear resistance of the main pairs of friction of mechanical vacuum pumps in a non-abrasive environment is of scientific and practical interest. To conduct a multifactorial experiment, couples of friction «cast iron-textolite», «cast iron-fluoroplastic», «textolite-fluoroplastic» were taken. As the optimization parameter (response function), the rate of wear of friction pairs was selected, depending on the speed of relative displacement and pressure in the contact zone. After processing the data obtained during the experiment, the response functions of the optimization parameter were obtained, which are polynomials of the first degree. An analysis of the obtained wear patterns showed that with increasing pressure in the contact zone and the speed of relative displacement, the rate of wear increases in all the investigated friction pairs, with or without lubricant. However, it should be noted that the wear rate in friction pairs with fluoroplastic is much lower than in the pair of friction «cast iron-textolite» in 2.5 - 3 times. Thus, the conducted studies showed that the pairs of friction «cast iron-fluoroplastic» and «textolite-fluoroplastic» are more wear-resistant when the speed of relative displacement and pressure in the contact zone changes than the friction pair «cast iron-textolite», in the absence of abrasive. The use of fluoroplast-4 material is promising as a material for the surfaces of friction pairs of not only mechanical vacuum pumps, but also for other rotary machines operating under similar conditions.*

Keywords: *abrasive, friction pairs, wear resistance, lubrication, friction.*

Введение. В настоящее время вакуумную технику широко используют различных отраслях промышленности (электротехнической, электронной, радиотехнической, химической, металлургической и др.) для осуществления технологических процессов или обеспечения работы установок различного назначения (термообработки, переплава металлов и сплавов, нанесения тонких пленок, электронно-лучевой и диффузионной сварки и др.), а также в криогенных установках и установках для имитации космических условий.

Основным элементом любой вакуумной системы, как правило, является механический вакуумный насос. В настоящее время зарабатывается серия новых конструкций механических вакуумных насосов с улучшенными откачными и энергетическими характеристиками и агрегатов на их основе, отвечающих современным требованиям, так как возникла необходимость в резком увеличении их производства для удовлетворения все возрастающей потребности в них практически всех отраслей промышленности. В связи с этим, все более остро встает проблема повышения их долговечности и работоспособности, особенно при длительной непрерывной эксплуатации. Основной причиной отказов большинства механических вакуумных насосов, является неудовлетворительная работа их основных пар трения. Это приводит к увеличению технологических зазоров, а следовательно возрастают внутренние перетекания газа. Как правило, большинство пар трения серийных механических вакуумных насосов выполнены из стали, чугуна, текстолита.

Цель исследований. В последнее время, все большее распространение при производстве механических вакуумных насосов, стали получать антифрикционные материалы, такие как фторопласт.

Вопросам износостойкости данных пар трения, посвящено множество работ, однако все исследования выполнены в условиях наличия абразивных частиц, попадающих в зону контакта с перекачиваемой средой [1-7].

При этом существуют технологические процессы в химической, медицинской, фармацевтической, радиотехнической и др. отраслях промышленности при которых наличие примесей (в том числе и абразивных частиц) в рабочей среде недопустимо. К ним относятся масс-спектрометрия, перекачка, транспортировка и получение химически чистых веществ и др. С этой целью в технологических линиях устанавливаются различные виды фильтров, в основе которых лежат физические и химические принципы очистки среды, а в конструкции механических насосов применяются инертные материалы химически стойкие к рабочей среде, и не образующие взвешенных частиц. Поэтому механические вакуумные насосы работающие в таких технологических линиях работают практически в безабразивной среде. Продуктами износа пар трения самих насосов можно пренебречь, в виду их незначительности и однородности материального состава. Поэтому работы направленные на определение износостойкости основных пар трения механических вакуумных насосов в безабразивных условиях представляют научный и практический интерес. Результаты этих исследований могут быть использованы при конструировании новых и конструктивно более совершенных механических вакуумных насосов.

Материалы и методы. Ввиду большого разнообразия как видов самих механических вакуумных насосов, так и материалов изготовления их ос-

новных деталей, были выбраны пары трения, такие как: «чугун-текстолит» (ЧТ), «чугун-фторопласт» (ЧФ), «текстолит-фторопласт» (ТФ). Предварительные исследования показали, что наибольшее влияние на износостойкость данных пар трения оказывают: скорость относительного перемещения рабочих поверхностей, давление в зоне контакта и концентрация абразива на поверхностях трения [8-10]. В связи с этим, было принято решение о проведении многофакторного эксперимента по трехуровневому плану второго порядка Бокса-Бенкина для трех факторов.

В качестве параметра оптимизации (функция отклика) была выбрана скорость изнашивания пар трения.

Диапазон варьирования:

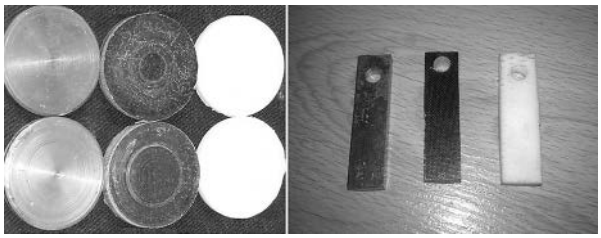
- скорости относительного перемещения рабочих поверхностей пар трения X1 (υ) выбран от 2 до 15 м/с;
- давления в зоне контакта X2 (P) от 52 до 84 Па;
- концентрации абразива на поверхностях трения X3 (Ca) от 0 до 10%.

Данные диапазоны варьирования факторов были выбраны в результате теоретических и экспериментальных исследований пар трения вакуумного насоса пластинчатого типа, как наиболее характерного и распространенного вида механических вакуумных насосов.

При проведении многофакторного активного эксперимента применялась машина трения МТУ-01. В машине трения МТУ-01 используется принцип трения торца цилиндрического образца о плоскую сторону диска.

Диски и пластины были изготовлены из текстолита, чугуна, фторопласта. Образцы закреплялись в верхнем диске, который затем крепится в привод машины трения. Для проведения многофакторного эксперимента были изготовлены образцы «диск» в качестве подложки и «пластина» в качестве движущегося элемента по подложке (рис. 1).

«Диск» представляет собой окружность радиусом 120 мм и толщиной 4 мм. «Пластина» представляет собой полоску материала размерами 40x10x4 мм. Таким образом, площадь контакта торцевой поверхности пластины с подложкой составляет 0,4 см^2.



(а) *(б)*

Рис. 1. Образцы «диск» (а) и «пластина» (б)

Метод испытаний основан на взаимном перемещении прижатых друг к другу с заданным усилием испытываемых образцов в среде смазочных материалов. В процессе испытания тензодатчиком регистрируется момент трения с графическим отображением его изменения, а также изменение веса испытуемых образцов. Регистрируемые параметры записываются и обрабатываются с использованием ПЭВМ.

Перед началом испытаний образцы притирались друг к другу, затем под-

вергались мойке и сушке, после чего взвешивались.

Испытанию подвергались пары трения ЧТ, ЧФ и ТФ.

Эксперимент проводили таким образом, чтобы во всех сравниваемых вариантах путь трения был одинаков, что обеспечивалось снятием характеристики за каждые 1000 циклов. Для обеспечения точности измерений его проводили в 3-х кратной повторности.

Методикой исследования на МТУ-01 предусматривается весовой метод контроля износа по ГОСТ 27860-88. Для измерения износа использовались электронные прецизионные весы серии ALC.

Скорости изнашивания (мкм/ч) определяли по формуле:

$\upsilon = m/(\rho \cdot b \cdot h \cdot t_ц)$,

где m – масса износа, кг;

ρ – плотность вещества, кг/м^3;

b и h – соответственно ширина и толщина, м;

$t_ц$ – время, за которое образец прошёл 1000 циклов, ч.

Результаты и обсуждение. После обработки данных, полученных в ходе эксперимента по трехуровневому плану Бокса-Бенкина 2-го порядка были получены функции отклика параметра оптимизации, представляющие собой полиномы первой степени.

Анализ полученных закономерностей износа в паре ЧТ (рис. 2) показывает, что все зависимости имеют линейный характер. Для P=const (P=52 МПа, P=68 МПа, P=84 МПа) и при увеличении скорости относительного перемещения υ, скорость изнашивания в исследуемом диапазоне возрастает. Так, например, при P=52 МПа скорость изнашивания пары трения ЧТ со смазкой для υ=2 м/с равна γ=0,266 мкм/ч, а при υ=15 м/с скорость изнашивания γ=0,366 мкм/ч. То есть с увеличением скорости относительного перемещения поверхностей в 7,5 раз, скорость изнашивания γ увеличилась на 37,6%.

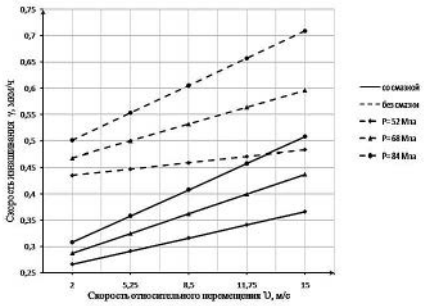


Рис. 2. Зависимость скорости изнашивания пары трения «ЧТ» от скорости относительного перемещения υ и давления P при нулевой концентрации абразива в зоне контакта

Скорость изнашивания пары трения ЧТ при P=52 МПа и υ=2 м/с, без смазки составляет γ=0,435 мкм/ч, а при υ=15 м/с скорость изнашивания γ=0,483 мкм/ч, что выше на 63,5% и 31,9% соответственно, чем у аналогичной пары трения при тех же скоростях со смазкой.

С ростом давления скорость изнашивания пары трения ЧТ, как со смазкой, так и без нее возрастает. Для пары трения со смазкой и при υ=2 м/с и P=52 МПа, γ=0,266 мкм/ч, а при P=84 МПа скорость изнашивания γ=0,308 мкм/ч. При υ=15 м/с и при P=52 МПа, γ=0,366 мкм/ч, а при P= 84 МПа

скорость изнашивания γ=0,508 мкм/ч. С ростом давления от 52 до 84 МПа для скорости υ=2 м/с скорость изнашивания возрастает на 15,8%, а для скорости υ=15 м/с на 38,8%, что определяется влиянием совместного проявления двух факторов − скорости перемещения υ и давления в зоне контакта Р. Это говорит о том, что в зоне контакта двух поверхностей количество упругих деформаций снижается, но растет количество динамических взаимодействий (сдвиг, отрыв, срезание, перемещение) частиц контактирующих материалов, которые приводят к увеличению износа пары трения.

Работа пары трения ЧТ без смазки показывает, что скорость изнашивания γ с изменением давления в зоне контакта при υ=2 м/с увеличилась на 15,2%, а при υ=15 м/с на 46,8%, то есть в паре трения без смазки совместное проявление взаимодействия скорости перемещения υ и давления Р оказывает более значительное влияние на скорость изнашивания.

Аналогичные зависимости для пар трения ЧФ и ТФ представлены на рисунках 3а и 3б.

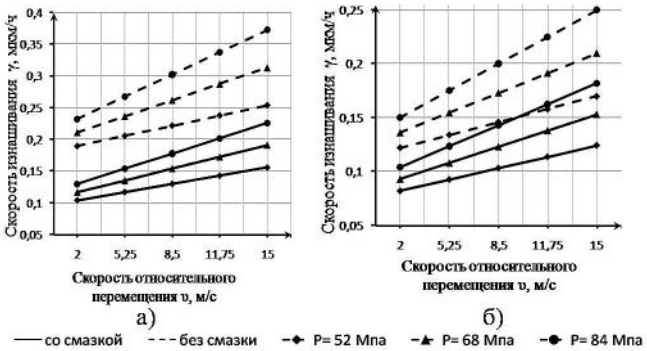


Рис. 3. Зависимость скорости изнашивания пары трения «ЧФ» а) и «ТФ» б) от скорости относительного перемещения υ и давления Р при нулевой концентрации абразива в зоне контакта

Из рисунков 3а и 3б видно, что для пар трения ЧФ и ТФ прослеживается такая же тенденция повышения скорости изнашивания с ростом скорости относительного перемещения контактирующих поверхностей υ и давления Р, как и у пары трения ЧТ. Однако следует отметить тот факт, что скорость изнашивания в парах трения с фторопластом значительно ниже, чем в паре трения ЧТ в 2,5 − 3 раза.

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали, что пары трения ЧФ и ТФ более износостойки при изменении скорости относительного перемещения и давления в зоне контакта, чем пара трения ЧТ, в условиях отсутствия абразива. Использование материала фторопласт-4 является перспективным в качестве материала для поверхностей пар трения не только механических вакуумных насосов, но и для других ротационных машин работающих в схожих условиях.

Библиографический список

1. Кобозев М.А., Марьин Н.А., Павлюк Р.В., Лебедев П.А., Захарин А.В., Лебедев А.Т. Показатели относительной износостойкости основных пар трения серийных и модернизированных вакуумных насосов пластинчатого типа // Научное обозрение. 2016. N22. С. 95-99.

2. Благова О., Лебедев А.Т., Захарин А. В., Лебедев П.А. Исследование износостойкости пар трения серийных и модернизированных вакуумных насосов пластинчатого типа // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 11-15.

3. Грабельников Д.И., Павлюк Р.В., Лебедев П.А., Марьин Н.А., Захарин А.В. Направления повышения экологичности использования машин ротационного типа // В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК Сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016». 2016. С. 320-325.

4. Захарин А.В., Лебедев П.А., Магомедов Р.А., Павлюк Р.В., Лебедев А.Т., Рыбалкин Н.А. Основные направления совершенствования конструкций машин ротационного типа / Научная мысль. 2015. N3. С. 63-68.

5. Лебедев А.Т., Захарин А.В., Грабельников Д.И., Шумский А.С. Обзор и анализ существующих технологий восстановления деталей машин ротационного типа // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции в рамках XX Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2013» и научно-практической конференции «Ресурсо- и энергосбережение в АПК. Альтернативные виды топлива». 2013. С. 212-214.

6. Лебедев А.Т., Захарин А.В. Повышение эффективности использования вакуумного насоса пластинчатого типа модернизацией конструкции при ремонте // Наука в центральной России. 2014. N3(9). С. 54-59.

7. Лебедев А.Т., Захарин А.В., Магомедов Р.А., Марьин Н.А. Теоретические предпосылки и практические рекомендации повышения эффективности работы вакуумного насоса пластинчатого типа // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. // Международная научно-практическая конференция. 2014. С. 56-63

8. Лебедев А.Т., Захарин А.В. Надежность и эффективность вакуумных насосов: монография / Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та. 2013. 148 с.

9. Захарин А.В. Повышение эффективности работы вакуумных насосов пластинчатого типа модернизацией конструкции при ремонте: диссертация кандидата технических наук. Зерноград, 2012. 164 с.

10. Захарин А.В. Повышение эффективности работы вакуумного насоса пластинчатого типа модернизацией конструкции при ремонте: Автореф. дис. … канд. техн. наук. Ставрополь, 2012. 21 с.

11. Михальченков А.М., Лялякин В.П., Михальченкова М.А. Методика проведения ускоренных сравнительных испытаний различных материалов на абразивное изнашивание // Метрология. 2014. N9. С. 15-22.

References

1. Kobozev M.A. Indicators of relative wear resistance of the main friction pairs of series and modernized vacuum pumps of plate type / M.A. Kobozev, N.A. Maryin, R.V. Pavliuk, P.A. Lebedev, A.V. Zakharin , A.T. Lebedev // Scientific Review. 2016. № 22. P. 95-99.

2. Blagova O. Investigation of the wear resistance of friction pairs of series and modernized vacuum pumps of lamellar type / O. Blagova, A.T. Lebedev, A.V. Zakharin, P.A. Lebedev // Proceedings of GOSNITI. 2014. T. 116. P. 11-15.

3. Grabelnikov D.I . Directions to improve the ecological compatibility of rotary-type machines / D.I. Grabelnikov, R.V. Pavliuk, P.A. Lebedev, N.A. Maryin, A.B. Zakharin // In the collection: Actual problems of scientific and technical progress in the agrarian and industrial complex. The collection of scientific articles of the XII International Scientific and Practical Conference within the framework of the XVIII International Agro-Industrial Exhibition «Agrouniversal 2016». 2016. P. 320-325.

4. Zakharin A.V. Basic directions of improving the design of rotary-type machines / A.V. Zakharin, P.A. Lebedev, R.A. Magomedov, R.V. Pavlyuk, A.T. Lebedev, N.A. Rybalkin. Scientific thought. 2015. N3. P. 63-68.

5. Lebedev A.T. Review and analysis of existing technologies for restoring parts of rotary-type machines / A.T. Lebedev, A.V. Zakharin, D.I. Grabelnikov, A.S. Shumsky // In the collection: Actual problems of scientific and technical progress in the agro-industrial complex Collected scientific articles on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference within the framework of the XX International Agro-Industrial Exhibition «Agrouniversal-2013» and the scientific-practical conference «Resource and energy saving in the agro-industrial complex.» Alternative Fuels. «Editors: Orlyansky A.V., Petenev A.N., Zemlyanushnova N.Y. 2013. P. 212-214.

6. Lebedev A.T., Zakharin A.V. Increase of the efficiency of using a vacuum pump of the plate type by modernization of the structure during repair // Science in Central Russia. 2014. N3(9). P. 54-59.

7. Lebedev A.T. Theoretical preconditions and practical recommendations for increasing the efficiency of a vacuum pump of a plate type / A.T. Lebedev, A.V. Zakharin, R.A. Magomedov, N.A. Maryin // In the collection: New technologies in agriculture and food industry using electrophysical factors and ozone International Scientific and Practical Conference. 2014. P. 56-63.

8. Reliability and efficiency of vacuum pumps: monograph / A.T. Lebedev, A.V. Zakharin. Stavropol: AGRUS Stavropol State University. agrarian University, 2013. 148 p.

9. Zakharin A.V. Increase of an overall performance of vacuum pumps of lamellar type by modernization of a design at repair: the dissertation of the candidate of technical sciences / A.V. Zakharin. Zernograd, 2012. 164 p.

10. Zakharin A.V. Increase of efficiency of the vacuum pump of the plate type by the modernization of the structure during repair: the author's abstract. dis. ... cand. tech. sciences. Stavropol, 2012. 21 p.

11. Mikhalchenkov A.M., Lyalyakin V.P., Mikhalchenkova M.A. Metodika of carrying out the accelerated comparative tests of different materials for abrasive wear//Metrology. 2014. N9. Page 15-22.

УДК 631.3.004

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ – ЗАЛОГ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МТП

Алексей Иванович Новожилов, доктор технических наук, профессор, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород, Российская Федерация;
Анатолий Васильевич Дунаев, доктор технических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
Сергей Александрович Курепчиков, заместитель министра Министерство сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области, Российская Федерация, e-mail: ksagro@mail.ru;
Анатолий Викторович Базаев, заведующий сектором технической политики Министерство сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области, Российская Федерация, e-mail: bazaev@minapk.nnov.ru

Реферат. *Плановое оснащение предприятий АПК Нижегородской области современной техникой позволит внедрить прогрессивные ресурсосберегающие технологии, что актуально для всех видов сельскохозяйственных предприятий. Является изучение динамики приобретения сельскохозяйственной техники и энергообеспеченности предприятий АПК Нижегородской области. Предлагаемая программа приобретения комбайнов наряду с бюджетной поддержкой позволяет привлечь часть средств производителей или их официальных дилеров с целью снижения затрат сельхозтоваропроизводителей. В 2014 году приобретено и передано в лизинг 22 единиц техники на сумму более 140 млн рублей. Не смотря на сокращение парка, удалось снизить нагрузку на один эталонный комбайн с 218 га в 2011 году до 184 га в 2013 году. Растет количество новой техники, так количество зерноуборочных комбайнов работающих в пределах сроков амортизации увеличилось с 44 процентов в 2008 году до 62 процентов в 2014, тракторов с 32 процентов (2008 г.) до 44 процентов (2014 г.), кормоуборочных комбайнов с 38 (2008 г.) до 64 процентов (2014 г). Существенно изменилась структура парка тракторов в сельскохозяйственных предприятиях области. Однако энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций Нижегородской области снижается. Так в 2014 году по сравнению с 2012 она снизилась на 6 процента до 140,1 л.с. на 100 га пашни (в 2015 составляет 128 л.с. на 100га пашни, это связано с изменением структуры посевных площадей + 85 тыс. га к 2014 г. и выбытием техники со сроком эксплуатации свыше 10 лет). Анализируя представленные данные можно сделать вывод, что темпы сокращения машинно-тракторного парка РФ в 2 раза выше областных значений в Нижегородской области. На сегодняшний день процент готовности техники имеющейся в сельскохозяйственных предприятиях к выполнению механизированных весенне-полевых работ составляет – 95 процентов. Низкая доходность сельскохозяйственного производства препятствует использованию научно-технического прогресса для повыше-*

ния эффективности и конкурентоспособности производимой продукции, осуществлению технико-технологической модернизации производства. Для поддержания техники в высоком работоспособном состоянии, необходимо восстановить сеть специализированных ремонтных предприятий (СХТ). При недостаточном финансировании сельскохозяйственных предприятий, следует решить вопрос о создании машинно-прокатной станции. Нижегородская область уделяет внимание техническому перевооружению в сельскохозяйственных предприятиях приобретая лучшие сорта зерна и фуражных культур, мощные трактора с установками для обработки почвы и сеялками. Это позволяет ввести новые энергосберегающие технологии в сельскохозяйственное производство. Техника приобретается сельскохозяйственными предприятиями через областной Фонд поддержки АПК на условиях финансовой аренды. Значительно изменился парк тракторов на сельскохозяйственных предприятиях Нижегородской области. Физически и морально устаревшие машины заменяются на современные, высокопродуктивные трактора, включая и трактора импортного производства

Ключевые слова: *зерноуборочные комбайны, перевооружение, ресурсосберегающие технологии стоимость, трактора*

TECHNICAL RE-EQUIPMENT IS THE GUARANTEE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF MTP

Aleksey.I. Novozhilov,
State Agricultural Academy Nizhny Novgorod
Anatoliy.V. Dunaev,
Federal State Scientific Agroengineering Center VIM
Sergey A.Kurepchikov,
Anatoliy V. Bazaev
Department of agriculture and Food Resources of Nizhny Novgorod Region

Abstract. *Modern technical equipment of agricultural enterprises of the Nizhny Novgorod region will allow introducing progressive resource-saving technologies, which is important for all types of agricultural enterprises. of the study is to consider the dynamics of purchasing modern agricultural machinery for agricultural enterprises of the Nizhny Novgorod region. The proposed program helps attract some funds of producers or their official dealers (along with budget support) in order to reduce the costs of agricultural producers. In 2014, 22 units of equipment worth more than 140 million rubles were purchased and leased. Despite the reduction of the machinery park, it was possible to reduce the load on one standard harvester from 218 hectares in 2011 to 184 hectares in 2013. The number of new machinery increases. For example, the number of combine harvesters operating within the amortization periods has increased from 44% in 2008 to 62% in 2014, tractors - from 32% (2008) to 44% (2014), forage harvesters - from 38 (2008) up to 64% (2014). The structure of the tractor park in the agricultural enterprises of the region has changed significantly. However, the energy supply of agricultural organizations in the Nizhny Novgorod region is declining. So in 2014 compared to 2012, it fell by 6% to 140.1 hp. per 100 hectares of arable land (in 2015 it is 128 hp per 100 hectares of arable land, this is due to a change in the structure of sown areas + 85 thousand hectares by 2014*

and the retirement of old equipment with a service life of more than 10 years). Analyzing the data presented, we can say that the reduction rate of the machine and tractor fleet in Russia is 2 times higher than in the Nizhny Novgorod region. At present, the percentage of machinery ready for performing mechanized spring field works is 95%.

Low profitability of agricultural production makes it more difficult to increase the efficiency and competitiveness of manufactured products and to implement technical and technological modernization of production. To maintain machinery in a high operational state, it is necessary to restore the network of specialized repair enterprises Given the inadequate financing of agricultural enterprises, the issue of renting agricultural machinery should be resolved. Nizhny Novgorod region carries out technical re-equipment of agricultural enterprises by acquiring high-productive grain and forage harvesters, powerful tractors equipped with combined soil tillage implements and seeding systems. This allows to introduce advanced energy saving technologies in agricultural production. Техника приобретается сельскохозяйственными предприятиями через областной Фонд поддержки АПК на условиях финансовой аренды. Machinery is purchased by agricultural enterprises through the Agribusiness Regional Support Fund under finance leases. The structure of farm tractors in the agricultural enterprises of the region has changed significantly. Morally and physically obsolete machinery is replaced by modern, high power tractors, including foreign production.

Keywords: *technical re-equipment, cost recovery, tractors, combine harvesters, resource-saving technologies.*

Введение. В рамках реализации программы развития сельского хозяйства в Нижегородской области осуществляется техническое перевооружение предприятий АПК путем приобретения высокопроизводительных зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов, энергонасыщенных тракторов в агрегате с широкозахватными комбинированными почвообрабатывающими агрегатами и посевными комплексами, что позволяет внедрять в сельскохозяйственное производство прогрессивные ресурсосберегающие технологии (доля до 38% от посевных площадей) [1].

Цель исследования – изучить динамику приобретения сельскохозяйственной техники и энергообеспеченности предприятий АПК Нижегородской области.

Объекты, условия и методы. В 2014 году сельхозпредприятиями области приобретено 222 трактора 100 зерноуборочных и 26 кормоуборочных комбайна, 107 грузовых автомобилей и более 500 единиц другой техники и оборудования, на эти цели было привлечено около 1,2 млрд. рублей кредитных средств с компенсацией части процентной ставки[2].

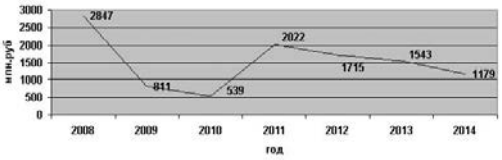


Рис.1. Объем кредитных средств на приобретение техники, млн руб.

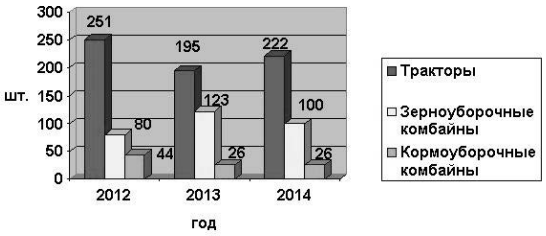


Рис. 2 . Приобретение техники в Нижегородской области

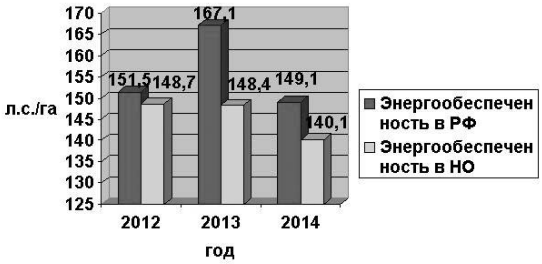


Рис. 3. Энергообеспеченность, л.с. на 100 га

Кроме того, техника приобретается сельскохозяйственными предприятиями через областной Фонд поддержки АПК на условиях финансовой аренды (лизинга) [3-4]. В 2014 году приобретено и передано в лизинг 22 ед. техники на сумму более 140 млн. рублей, из них:

- тракторов – 3 ед., комбайнов зерноуборочных – 11 ед., комбайнов кормоуборочных – 2 ед., прочая сельхозтехника – 6 ед.

Всего через фонд поддержки АПК передано в лизинг техники и оборудования на сумму 370 млн рублей.

В 2015 году продолжается возмещение части затрат на приобретение зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов отечественного производства. Предлагаемая программа приобретения комбайнов наряду с бюджетной поддержкой позволяет привлечь часть средств производителей или их официальных дилеров с целью снижения затрат сельхозтоваропроизводителей. Комбайны продаются им со скидкой не менее 250 тыс. руб. на один комбайн при приобретении зерноуборочных комбайнов с мощностью двигателя до 250 л.с. и самоходных кормоуборочных комбайнов, и в размере не менее 500 тыс руб. – на зерноуборочные комбайны с мощностью двигателя 250 л.с. и более. За 2014 год по этой программе сельхозтоваропроизводителям области поставлено 58 зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов. Всего с момента начала действия данной программы сельхозтоваропроизводителями было приобретено 217 зерноуборочных и кормоуборочных комбайна.

Благодаря программе возмещения части затрат на приобретение зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов, не смотря на сокращение парка, удалось снизить нагрузку на один эталонный комбайн с 218 га в 2011 году до 184 га в 2013 г. [5-7].

Растет количество новой техники, так количество зерноуборочных комбайнов работающих в пределах сроков амортизации увеличилось с 44% в

2008 году до 62% в 2014, тракторов с 32% (2008 г.) до 44% (2014 г.), кормоуборочных комбайнов с 38 (2008 г.) до 64% (2014 г.), грузовые автомобили с 35 (2008 г.) до 45% (2014 г.).

Результаты и обсуждения. Существенно изменилась структура парка тракторов в сельскохозяйственных предприятиях области. На замену морально и физически устаревшим приходят современные, энергонасыщенные тракторы, в том числе иностранного производства (419 ед. на 1.01.2015) [8-9].

Однако энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций Нижегородской области снижается. Так в 2014 году по сравнению с 2012 она снизилась на 6% до 140,1 л.с. на 100 га пашни (в 2015 составляет 128 л.с. на 100га пашни, это связано с изменением структуры посевных площадей + 85 тыс.га к 2014 г. и выбытием техники со сроком эксплуатации свыше 10 лет.) Средний показатель энергообеспеченности по РФ составляет 149,1 л.с. на 100 га пашни, в ПФО – 129,9 л.с. на 100 га пашни, в Нижегородской области этот показатель составляет 140,1 л.с. на 100 га пашни.

На 01.01.2015 года в сельскохозяйственных предприятиях области имелось:

Тракторов – 6 759 (-233 к 2014 г.) – 3,3%;

Зерноуборочных комбайнов – 1 678 (– 81 к 2014 г.) – 4,7%;

Кормоуборочных – 569 (-17 к 2014 г) – 3%;

Сеялок и посевных комплексов – 2045 (– 43 к 2014 г) – 2%;

Плугов и культиваторов – 4 300 (– 470 к уровню 2014 г.) – 10%.

Тенденция к снижению количества техники в сельскохозяйственных предприятиях является общероссийской [10].

Наличие сельскохозяйственной техники в сельскохозяйственных предприятиях Российской Федерации и Нижегородской области приведены в таблице.

Таблица

Наличие сельскохозяйственной техники в Российской Федерации, тыс.ед.

Наименование техники	2012		2013		2014		Отклонение показателей 2014 г. к 2012 г., %	
	РФ	НО	РФ	НО	РФ	НО	РФ	НО
Тракторы, тыс.ед.	301,2	7,2	283,0	7,0	270,0	6,8	- 10,4	-5,6
Зерноуборочные комбайны, тыс.ед.	72,3	1,77	67,9	1,76	64,6	1,68	- 10,3	-5,1
Кормоуборочные комбайны, тыс.ед.	17,6	0,61	16,1	0,59	15,2	0,57	- 13,7	-6,6

Выводы. Анализируя представленные данные можно сделать вывод, что темпы сокращения машинно-тракторного парка РФ в 2 раза выше областных значений в Нижегородской области.

На сегодняшний день процент готовности техники имеющейся в сельскохозяйственных предприятиях к выполнению механизированных весенне-полевых работ составляет – 95%.

Низкая доходность сельскохозяйственного производства препятствует использованию научно-технического прогресса для повышения эффективности и конкурентоспособности производимой продукции, осуществлению технико-технологической модернизации производства.

Для поддержания техники в высоком работоспособном состоянии, необходимо восстановить сеть специализированных ремонтных предприятий (СХТ).

При недостаточном финансировании сельскохозяйственных предприятий, следует решить вопрос о создании машинно-прокатной станции.

Библиографический список

1.Федеральный закон от 29.12.2006 г. №264 (ред. от 03.07.2016 г.) «О развитии сельского хозяйства»

2. Ведомственная отчетность министерства сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области – 2014-2015 гг.

3. Исаев, Р.В. Совершенствование механизма лизинговых поставок техники сельхозпроизводителям // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2001. N7. С. 2-6.

4. Шаханов, А.А. Техническое перевооружение машинно-тракторного парка / // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. N1. С. 13-15

5. Казаков А.В., Кошелев Р.В., Тюльнев А.В. Оценка эффективности использования машин в сельскохозяйственном производстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. N4-2(46). С. 104-107.

6. Важенин А.Н. Арютов Б.А., Пасин А.В. Обоснование и реализация ситуационных технологических уровней механизированных производственных процессов в растениеводстве. // Монография. НГСХА. 2013.

7. Арютов Б.А., Пасин А.В., Новожилов А.И., Соколов С.П. Исследование влияние условий функционирования на технико-технологические параметры производственных процессов в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве.2007.N6. С. 50-51.

8. Новожилов А.И., Важенин А.Н. Повышение эффективности механизированных технологических комплексов в растениеводстве с учетом сезонных условий их использования. /. // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. N5. С. 59-64.

9. Важенин А.Н. Новожилов А.И., Арютов Б.А., Пасин А.В. Многокритериальная оптимизация структуры производственных комплексов в растениеводстве // Вестник НГСХА. 2014. Том 3.С. 14-26.

10. Орсик. Л.С. Состояние и перспективы механизации растениеводства России // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002.N1. С. 2-5.

11. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Лялякин В.П. Концепция развития технического сервиса в АПК России на период до 2010 года // М: Росинформагротех. Москва, 2004. 200 С.

Bibliography

1. Federal Law of December 29, 2006, No. 264 (July 3, 2016) «On the development of agriculture»

2. Departmental reports of the Ministry of Agriculture and Food Resources of the Nizhny Novgorod region - 2014-2015.

3. Isaev, R.V. Perfection of the mechanism of leasing supplies of equipment to agricultural producers / R.V. Isaev // Mechanization and electrification of agriculture.-2001.-π7.-p. 2-6.

4. Shakhanov, A.A. Technical re-equipment of the machine-tractor park / A.A. Shakhanov // Mechanization and electrification of agriculture.-2002.-№ 1.-p. 13-15

5. Kazakov A.V. Evaluation of the efficiency of the use of machines in agricultural production / Koshelev RV, Tyulnev AV // International Scientific and Research Journal.-2016.-№4-2 (46) .- p. 104-107.

6. A.V.Vazhenin. Justification and implementation of situational technological levels of mechanized production processes in crop production. / Novozhilov AI, Aryutov BA, Pasin AV // Monograph. NGSAA. 2013.

7. Arjutov B.A. Investigation of the impact of operating conditions on the technical and technological parameters of processes in crop production / A.V. Pasin, A.I. Novozhilov,

S.P. Sokolov // Engineering in agriculture.-2007.-№6.-p.50-51.

8. A.I. Novozhilov. Increase of efficiency of mechanized technological complexes in plant growing taking into account seasonal conditions of their use. / A.N. Vazhenin. // Technology of wheeled and tracked vehicles. -2014.-No. 5.-p. 59-64.

9. A.N. Vazhenin. Multicriteria optimization of production complexes in plant growing. / Novozhilov AI, Aryutov BA, Pasin AV // Bulletin of the National State Academy of Arts. 2014. Volume 3.p, 14-26.

10. Orsik. L.S. Situation and prospects of plant growing mechanization in Russia. / L.S. Orsik // Mechanization and electrification of agriculture.-2002.-No.1-p. 2-5.

11. Chernoivanov V.I., Northern A.E., Lyalyakin V. P. The concept of development of technical service in agrarian and industrial complex of Russia until 2010: Rosinformagrotekh. Moscow, 2004. 200 P.

УДК 631.153.3

АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕСМОТРА СТАНДАРТА НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Анатолий Васильевич Дунаев, доктор технических наук;
Вера Александровна Казакова, младший научный сотрудник;
Валентина Алексеевна Шинкевич, ведущий инженер;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: lab-stand@mail.ru

В настоящее время назрела необходимость в пересмотре действующего межгосударственного стандарта ГОСТ 20793 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание». Пересмотр стандарта требует исключения в нем ошибочных требований, введения эффективных приемов организации и технологий технического обслуживания, совмещение технического обслуживания и текущего ремонта машин, по экспресс-контролю смазочных масел, рекомендаций по повышению ресурса и работоспособности изношенных машин с помощью современных методов триботехники, требований по применению органолептического диагностирования, расширения рекомендаций по предотвращению отказов и неисправностей машин. В проекте стандарта также предложено проведение новых дополнительных работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту, например: эксплуатационная обкатка машин приработочными составами; обработка агрегатов мягкими, профилактическими составами на период предремонтной эксплуатации; специфическое диагностирование автотракторных двигателей внутреннего сгорания и их «безразборный ремонт» ремонтно-восстановительными трибосоставами; обкатка отремонтированных агрегатов притирочными составами с заменой их после обкатки профилактическими составами. Приведены примеры эффективности применения трибосоставов и новых приемов технического обслуживания. Проект подготовлен в первой редакции, для чего учтены предложения от 18 российских и 2 зарубежных специалистов агропромышленного комплекса, разрабатывается проект второй редакции. Реализация с помощью пересмотренного стандарта традиционных и новых работ технического обслуживания и диагностирования машин, как показала многолетняя практика, позволит до 1,5-3 раз увеличить межремонтный срок службы изношенных автотракторных дизелей, продлить срок службы их масел до 1,5 раз, уменьшить затраты на техническую эксплуатацию машинно-тракторного парка в 1,5 раза с годовой экономией по энергонасыщенному трактору до пятнадцати тысяч рублей.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, диагностирование, безразборный ремонт, экспресс-контроль масел*

RELEVANCE OF REVISION OF THE STANDARD ON MAINTENANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY

Vera A. Kazakova,
junior researcher, manager of laboratory of standardization, e-mail: lab-stand@mail.ru.
Valentina A. Shinkevich, leading engineer on standardization
Anatoly V. Dunayev, Dr. Sci. Tech., senior research associate, leading researcher of laboratory, Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Now need for revision of the existing interstate standard «Tractors and farm vehicles is proved. Maintenance». Revision of the standard demands an exception in it wrong requirements, introductions of effective receptions of the organization and technologies of maintenance, combination of maintenance and maintenance of cars, on express control of lubricant oils, recommendations about increase of a resource and operability of worn-out cars by means of modern methods tribotekhnik, requirements for application of organoleptic diagnosing, extension of recommendations about prevention of refusals and malfunctions of cars. In the draft of the standard carrying out new additional works on maintenance and maintenance, for example is also offered: operational running in of cars prirabotochny structures; processing of units by soft, preventive structures for prerepair operation; specific diagnosing of autotractor internal combustion engines and them «in-place repair» repair and recovery tribosostava; a running in of the repaired units pritirochny structures with their replacement after a running in with preventive structures. Examples of efficiency of application of tribosostav and new methods of maintenance are given. The project is prepared in the first edition for what offers from 18 Russian and 2 foreign specialists of agro-industrial complex are considered, the project of the second edition is developed. Realization by means of the revised standard of traditional and new works of maintenance and diagnosing of cars as long-term practice showed, will allow to increase a reserve maintenance period of service of worn-out autotractor diesels to 1,5-3 times, to prolong service life of their oils to 1,5 times, to reduce costs of technical operation of machine and tractor park by 1,5 times with annual economy on a power saturated tractor to fifteen thousand rubles.

Keywords: *maintenance, diagnosing, in-place repair, express control of oils*

За последние десятилетия МТП АПК значительно «износился», резко сократился и изменился по составу, а инженерная служба отрасли крайне ослабла. Поэтому требуется соответствующая адаптация организации и технологий ТО и ТР, расширение рекомендаций по предотвращению отказов и неисправностей машин, использованию «богатства» органолептических методов контроля, современных методов повышения ресурса и работоспособности изношенных машин достижениями триботехники.

Государственный стандарт ГОСТ 20793-81 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание» был введен в действие в 1983 г., в котором впервые были унифицированы виды, периодичность, основные правила и требования к качественному и своевременному проведению технического обслуживания тракторов, комбайнов, самоходных, прицепных, стационарных машин, почвообрабатывающих, посевных, посадочных, уборочных машин, машин по уходу за посевами, по обработке сельскохозяйственных культур, прицепов и транспортеров в организациях агропромышленного комплекса страны. Реализация требований стандарта

повысила надежность и работоспособность парка машин сельского хозяйства – коэффициент технической готовности машинно-тракторного парка страны был повышен до 0,92, а в некоторых регионах по энергонасыщенным тракторам Кировец и Т-150К до 0,95-0,97.

После пересмотра стандарта был принят ГОСТ 20793-86. С конца 80-х гг. произошли серьезные изменения в политической и экономической организации страны. Эти преобразования наиболее негативно отразились на инженерной службе агропромышленного комплекса, произошла потеря его наиболее эффективных государственных организаций, как в РФ, так и в других странах союза независимых государств. Ослабление инженерной службы потребовало изменений в организации ее работы и своевременной корректировке ГОСТ 20793 для отражения новых форм организации, приемов и средств технического обслуживания машинно-тракторного парка АПК [1, 2].

Однако, с многолетним опозданием материалы идеологии начала 90-х гг. по организации сервиса в АПК были изложены в межгосударственном стандарте ГОСТ 20793-2009, введенном в действие с 01.05.2011 г.

В стандарте, естественно, рекомендации по организации и проведению технического обслуживания машинно-тракторного парка АПК не соответствуют современным требованиям и требуют доработки [1,3,9,10].

Так, например:

- непоследовательно изложенные перечни некоторых операций технического обслуживания (ТО) не соответствуют современным машинам;
- ошибочно включены требования контроля отработавших газов;
- отсутствуют требования по контролю моторных масел, показатели которых являются важнейшими диагностическими параметрами;
- не даны рекомендаций по эффективному применению безразборного повышения работоспособности и ресурса агрегатов современными триботехническими материалами.
- не учтено сложившееся разнообразие форм организации ТО с совмещением работ текущего ремонта машин [1, 3-10].

Пересмотр стандарта ГОСТ 20793-2009 был предусмотрен в программу национальной стандартизации Росстандарта России, но из-за реорганизации разработчика – ГОСНИТИ и Технического комитета по стандартизации ТК 377 «Ремонт и техническое обслуживание сельскохозяйственной техники» эти работы перешли на 2017 г.

Цель исследований – изложить в стандарте современные приемы и разнообразие форм организации ТО и текущего ремонта (ТР) отечественных и импортных машин для более качественного ТО и существенного повышения их межремонтного ресурса.

Материалы и методы. Исходя из поставленной цели, следует учитывать:

– во-первых, расширение видов ТО в соответствии с указаниями руководств по эксплуатации машин, регламентное проведение ТО перед интенсивными полевыми работами, привязка сложных видов ТО к смене масел;

– во-вторых, значительное удорожание материальных затрат (машин, запасных частей, топлива, масел) и удешевлением труда для повышения ресурса машин и снижения издержек от отказов машин приводит к необходимости нетрадиционного обслуживания МТП, уменьшения периодичности ТО и расширения перечня работ по защите агрегатов от загрязнений, обводнения, как главных причин их повышенного изнашивания, при этом,

совмещая ТО с неотложными работами ТР. При учащении и увеличении объема ТО обеспечивается повышение работоспособности систем защиты агрегатов, возможно продление безаварийной работы машин до предельных параметров, что увеличивает безаварийный срок службы машин и снижает эксплуатационные затраты;

– в-третьих, введение регламентного экспресс-контроля масел. Химмотологический экспресс-контроль масел по «капельной пробе» позволяет своевременно назначать операции ТО для заметного повышения эксплуатационного ресурса агрегатов МТП, в то время как в ГОСТ 20793-2009 контроль масел не предусмотрен.

– в-четвертых, использование современных приемов существенного повышения межремонтного ресурса изношенных агрегатов (в 3-5 раз) и повышения их работоспособности комплексом очистительных, профилактических, ремонтно-восстановительных составов [3-10].

В дополнении к совершенствованию стандарта ГОСТ 20793 в НТД на техническую эксплуатацию машин для более полного их обслуживания, безразборного восстановления работоспособности и повышения межремонтного ресурса их агрегатов необходимо в стандарте предложить проведение новых дополнительных работ по техническому обслуживанию, наприме:

- эксплуатационную обкатку машин приработочными составами, например – серпентиновыми, апробированными в моторостроении Японии и в Санкт-Петербургском политехническом университете;

- профилактическую обработку агрегатов мягкими, профилактическими составами на период предремонтной эксплуатации;

- безразборное восстановление агрегатов ремонтно-восстановительными трибосоставами при исчерпании доремонтного или межремонтного ресурса;

- обкатку отремонтированных агрегатов притирочными составами с заменой их после обкатки профилактическими составами.

Потребовалось также изменить и требования по обеспечению технической и экологической безопасности МТП [11].

Результаты и обсуждение. Примерами частичной реализации такого подхода предлагаются:

- при эксплуатационной обкатке тракторов применять трибосоставы «мягкого» действия, продолжающие заводскую обкатку, например, «GRAF-SB» (ТУ 0257-004-10182605-2016), серпентиновые составы (РВС и другие) вдвое меньшей концентрацией, чем для безразборного ремонта;

- после эксплуатационной обкатки и окончания гарантийного срока в начале длительной эксплуатации машин вводить трибосоставы более длительного действия, на 1000-2000 мото·ч работы тракторных дизелей. Здесь вдвое меньшими дозами рекомендуются серпентиновые составы НИОД от НПИФ «Энион-Балтика» (СПб), РВС от НПЦ «Руспромремонт» (СПб), составы НПТК «СУПРОТЕК» (СПб), «РеалИнПроект» (СПб), наноалмазный состав КАРАТ-М (ООО «РеалДзержинск», г. Дзержинск Нижегородской обл.), углеродные нановолокна «GRAF-SB» Красноярского института химии и химической технологии СО РАН.

На этапе ремонта, при превышении допускаемых или достижении предельных значений ресурсных параметров для компенсации износа, продления ресурса и восстановления работоспособности самой различной техники целесообразно использовать выше названные ремонтно-восстановитель-

ные трибосоставы. При малых концентрациях их вводят примерно через месяц эксплуатации машин до трех раз, а концентрациями 2-3% – однократно. Масло с высокой концентрацией после непродолжительной обработки агрегата необходимо заменять свежим.

Примером эффективности новых элементов ТО является «безразборный ремонт» дизеля ЯМЗ-240Б трактора К-701 в СХП «Коелгинское» Миасского р-на Челябинской обл., выполненный сотрудниками ФГОУ ВО ЧГАУ, где трактору, отработавшему 18 мес. от проведения капитального ремонта с необходимостью замены ЦПГ вместо ремонта трехкратным вводом трибосостава от НПЦ «Руспромремонт» эксплуатация трактора успешно продлена еще на 32 мес., т.е. до 50 мес.

Несмотря на перспективность нетрадиционного обслуживания (безразборный ремонт, зарожденный в нашей стране в конце 80-х гг., используется в Японии, Финляндии, Германии, Китае, Швеции, на Украине) в АПК РФ оно используется крайне незначительно по причинам[3-10]:

- недоверия, что вызвано серьезным негативом ряда первых трибосоставов,
- продвижения нетрадиционного ТО частными компаниями,
- отсутствия государственного интереса к совершенствованию ТО МТП АПК.

При обслуживании машин следует учитывать, что с изнашиванием ДВС и снижением давления масла по любым причинам целесообразно переходить на более вязкие масла. При сезонной работе машин следует отказываться от всесезонных масел, которые эффективны только для пуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в холодный период. Через 50-100 ч работы вязкость этих масел на жидкой базе с загущающими присадками, уменьшается на 25-50%, что повышает пусковой износ двигателей и сокращает ресурс масел [3].

В проекте пересмотра ГОСТ 20793 рекомендуется специалисту – инженеру по качеству и ценовой политике топливо-смазочных материалов (ТСМ) на входном контроле правильно использовать и диагностировать технику по показателям масел. Например, дорогие масла, не пригодные только из-за загрязнения, но с большим запасом рабочих свойств, следует очищать отстаиванием и, учитывая доступные для контроля показатели, повторно использовать по пониженному классу качества.

Владельцы техники должны применять дополнительные меры по защите систем смазки ДВС и гидроагрегатов от загрязнений, что резко повышает ресурс агрегатов и масел [3].

В технической эксплуатации МТП следует возрождать инструментальное диагностирование, чаще привлекать службу Гостехнадзора Министерства сельского хозяйства для дополнительного диагностирования машин.

В проекте пересмотра ГОСТ 20793 представлены соответствующие сложившимся условиям формы организации и новые приемы технического обслуживания, текущего ремонта и диагностирования машин:

- технологии и материалы (очистители, корректоры топлива, трибосоставы и др.) для безразборного повышения работоспособности изношенных агрегатов [6];
- актуальный арсенал диагностических параметров химмотологического класса [3];

- диагностирование ЦПГ ДВС по расходу масла на угар и экспресс-оценку остаточного ресурса ЦПГ по вакуумным параметрам и компрессии [3];

- поляризацию масел через масломерный щуп агрегатов [10].

Вместе с инструментальным контролем в стандарте должны быть рекомендации по органолептическому диагностированию, в котором с началом машинной эры накоплен значительный арсенал приемов контроля, выявления мест отказа и причин неисправностей агрегатов [3].

Для пересмотра ГОСТ 20793-2009 поступили предложения от 18 российских и двух зарубежных ученых и специалистов АПК, но мало отзывов от практиков. Только в Башкирском ГАУ обобщен опыт Башкортостана по обслуживанию импортной техники, где все работы ТО сгруппированы в два уровня:

- первый, выполняемый предприятием-владельцем техники: ТО-10, ТО-50, ТО-100 мото-ч, ТО при постановке машин на хранение;

- второй, выполняемый сервисными инженерами поставщика техники: ТО при эксплуатационной обкатке (50 и 100 мото-ч), ТО-Э (перед началом сезона работ), ТО-250, ТО-500, ТО-1000, ТО-2000.

Для качественного выполнения работ первого уровня поставщик машин проводит мастер-класс с учетом условий обслуживания и ремонта машин на предприятии, обеспечивая его соответствующей нормативно-технической документацией (руководства по эксплуатации, технологические карты, карты смазки и т.п.) [11].

При втором уровне, кроме регламентных работ по требованиям изготовителя, проводится периодическое диагностирование агрегатов, что позволяет заблаговременно организовывать их ремонт. По договору между владельцем и поставщиком техники состав работ по обоим уровням конкретизируется.

В пересмотренном стандарте следует отразить рекомендации по диагностированию ДВС перед их «безразборным ремонтом» по этапам:

1. Первое диагностирование цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ), чтобы определить целесообразность такого ремонта, последовательность воздействий трибосоставами нужной концентрации, количество трибообработок. Здесь учитывается, что ремонт чрезмерно изношенных, в предаварийном состоянии или разрушенных деталей трибосоставами не возможен.

Перед диагностированием ДВС обязателен экспресс- контроль масла по «капельной пробе» [1, 2, 8]. Если давление масла в ДВС ниже предельного – то первоочередно его увеличение сменой маслофильтров, регулировкой клапанов системы смазки, вводом более вязкого масла.

2. Очистка топливной, масляной систем, камеры сгорания, клапанов газораспределения триботехническим составом или комплексом других очистителей при ТО и в недлительной эксплуатации [6].

3. Повторное диагностирование для проверки качества очистки ЦПГ ДВС, оценки возможности безразборного ремонта дизеля (а также коробки передач, ведущих мостов) и продления их ресурса. Если после очистки поршневые кольца раскоксованы и получили подвижность, то повышается компрессия и улучшаются все показатели состояния ЦПГ. В противном случае требуется углубленное диагностирование ДВС с частичной подразборкой.

4. Безразборный ремонт неаварийного дизеля (других агрегатов) последовательным вводом трибосоставов. На этом этапе от степени износа агре-

гатов, например, дизеля (ЦПГ и КШМ) по значениям угара масла, прорыва картерных газов, компрессии, вакуумных параметров, минимального давления масла на холостом ходу прогретого ДВС, выбирают трибосостав профилактического (мягкого), либо ремонтно-восстановительного действия. Назначают их концентрацию в масле (50 мг/л 20 г/л), место введения (в картерное масло или, например, в цилиндры, в другие соединения при частичной разборке узлов), длительность и режим обработки, а если с подразборкой агрегата, то гель или суспензию трибосостава вводят непосредственно в сопряжения трения. Далее – эксплуатация машины, в которой идет трибообработка сопряжений, но перед ней целесообразен суточный простой машины и требуется участие ответственного специалиста [3, 9, 10].

5. Контрольная диагностика для оценки эффективности первой обработки: в ДВС – по уменьшению угара масла, прорыва картерных газов, дымности, расхода масла и топлива, повышению компрессии, улучшению вакуумных показателей, давления масла и др. При недостаточном улучшении показателей целесообразен повторный ввод трибосостава той же или меньшей дозой: двигателя в целом через картерное маслом или избирательно, например, только отдельных цилиндров, вводом трибосоставов в форсуночные/свечные отверстия. Последующее наблюдение за работой машины подскажет достаточность или необходимость третьей обработки [3, 9, 10].

6. Поддержание эффекта трибообработки с периодическим вводом, например, в ДВС очистителей и профилактических (мягких) составов перед каждой второй или третьей сменой масла; с вводом ремонтно-восстановительных трибосоставов перед каждой четвертой заменой масла, а также ежегодное использование корректоров топлив для снижения закоксованности ЦПГ и очистки форсунок [6].

Для машин, не имеющих встроенных бортовых систем контроля, в диагностировании ДВС возможно использовать [3, 9, 10]:

- для ЦПГ – индикатор расхода газов КИ-17999-ГОСНИТИ, анализаторы герметичности «АГЦ», «АЦП-2», компрессиметры, анализатор утечек воздуха «ПТ-1 Nev», эндоскоп, электронный индикатор давления «ELPI»; самый простой и эффективный параметр – расход масла на угар к расходу топлива (предел 2,5-5%);
- для КШМ – зависимости давления масла от частоты вращения коленчатого вала на холодном и на прогретом моторе; сопоставление зависимостей, выявление минимума, характера изменения и стабилизации давлений при повышенной и максимальной частоте вращения с холодным и горячим маслом; грубый метод – анализ стуков в зоне подшипников коленчатого вала на разных частотах вращения, в свободном разгоне, что аварийно опасно для сильно изношенных ДВС;
- для моторного масла – «капельная проба» на фильтровальной бумаге расплывающейся капли горячего масла. Этот анализ от фирмы «Shell» введен в руководства по ТО транспортных и судовых дизелей, в ОСТ 10 2.25-87; масляное пятно по размерам и цвету колец чистого масла, загрязненного масла, ядра, по форме окраины пятна позволяет оценить работоспособность масла, его моющие свойства, загрязненность, протечку воды из системы охлаждения, перегрев или аварийное состояние ДВС и масла.

Выводы

Подготовлен проект пересмотра действующего ГОСТ 20793 к условиям

современного состояния МТП и инженерной службы АПК, с исключением в нем ошибочных требований и введением эффективных приемов организации и технологий ТО и текущего ремонта МТП АПК.

Реализация же с помощью традиционных и новых предложенных мер адаптированного и пересмотренного стандарта для совершенствования ТО, ТР и диагностирования МТП, как показала многолетняя практика, позволит в 1,5-3 раза увеличить межремонтный срок службы изношенных автотракторных дизелей, продлить срок службы их масел в 1,5 раза, уменьшить затраты на техническую эксплуатацию МТП в 1,5 раза с годовой экономией по энергонасыщенному трактору до 15 тыс. руб. Одним из подтверждений данных являются результаты внедрения на ЗАО СПП «Коелгинское» РВС-технологии для восстановления ресурса двигателя ЯМЗ-240 трактора К-701 (Акт внедрения от 20 октября 2004 г.).

Библиографический список

1. Дунаев А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А. Совершенствование технической эксплуатации машинно-тракторного парка АПК// Стандарты и качество, 2017. N9 (963). С. 58-61

2. Костомахин М.Н., Шинкевич В.А., Тенникова Т.Н. Гармонизация государственных стандартов по техническому сервису на основе системы технического регулирования // Сельский механизатор. 2013. N10. С.16-17

3. Дунаев А.В., Соловьев С.А. Исследование диагностических параметров, разработка методов и средств их контроля для совершенствования диагностирования и технического обслуживания МТП АПК. М.: ГОСНИТИ. 2014. 360 с.

4. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии, мифы или реальность. СПб. 2004. 216 с.

5. Дроздов Ю.Н. и др. Новая противоизносная и антифрикционная ресурсо-восстанавливающая композиция присадок к смазочным материалам // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. N5. С. 50-53.

6. Балабанов В.И. и др. Безразборный сервис автомобиля. Обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление. М.: «Известия», 2007. 272 с.

7. Пустовой И.Ф. 14-летний опыт Питерской РВС-технологии // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, Ч.2. С. 38-40.

8. Белый И.Ф. и др. Эффективное использование антифрикционных добавок к трансмиссионным и моторным маслам. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 52 с.

9. Дунаев А.В., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю. Технологические рекомендации по повышению ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным маслам. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2013. 96 с.

10. Дунаев А.В., Филиппова Е.М. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития. М.: ГОСНИТИ. 2017. 255 с.

11. Казакова В.А., Шинкевич В.А., Филиппова Е.М., Ивлева И.Б. и др. Соответствие стандартам основных требований безопасности к машинам, прошедшим техническое обслуживание // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т.127. С.67-70

References

1. Dunaev A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Improvement of technical operatoin of the agrarian and industrial complex machine and tractor park // Standarts and qulity.2017; N9(963): 58-61

2. Kostomakhin M.N., Shinkevich V.A., Tennikova T.N. Harmonization of state standarts on technical servise on the basis of system of technical regulation. // Rural

machine operator. 2013; N10: 16-17.

3. Dunaev A.V., Soloviev S.A. Study of the diagnostic parameters, development of methods and means of their control to improve the diagnosis and maintenance of park mashines APK. M.: GOSNITI. 2014: 360.

4. Shabanov A.Yu. Essays on modern chemistry. Myth or reality. SPb. 2004; 216.

5. Drozdov Yu.N. et al. New anti-wear and antifriction resource-can-liwayway additive system for lubricants // Problems of mechanical engineering and reliability of machines. M.: 2004; 5: 50-53.

6. Balabanov V.I., et al. The Indiscriminate service of the car. Running, prevention, treatment, tuning, restoration. M.: Izvestiya. 2007: 272.

7. Pustovoi I.F. A 14-year veteran of the St. Petersburg RVS-technology // Proceedings of GOSNITI, 2011; T. 107; part 2: 38-40.

8. Beliy, I.F., et al. Efficient use of antifriction additives for the transmission and engine oils. M: Rosinformagrotekh. 2011: 52.

9. Dunaev A.V., Lyalyakin V.P., Solovyev R.Yu. Technological recommendations for increasing the resource units of the tractors repair and rehabilitation additives for oil lubricants. M.: FGNU «Rosinformagrotekh». 2013: 96.

10. Dunaev A.V., Filippova E.M. Unconventional tribology to increase the service life of tractors. The results of 25 years of development. M. GOSNITI. 2017: 255.

11. Kazakova V.A., Shinkevich V.A., et al. According to standards the essential safety requirements of the machine past maintenance // Proceedings of GOSNITI. 2017; T. 127: 67-70.

УДК 631.95

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.О. Каперзов, инженер, , Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: rosagroserv@list.ru

Реферат. *Человек с самого начала своего появления активно воздействует на окружающий его мир. Начиная с земледелия и заканчивая созданием различных технических средств для упрощения своей жизни, он постепенно и методично изменял живую оболочку Земли – биосферу, создавая нечто абсолютно новое, оболочку, которая наполнена его собственными творениями и преобразованная под его усмотрение. Эта искусственная система получила название техносфера. Скорость этого процесса преобразования и его масштабы со временем только растет. Состояние окружающей среды продолжает неуклонно ухудшаться. Дошло до того, что ничем неконтролируемое воздействие человека стало угрозой для него самого. Истощающиеся природные ресурсы, загрязнение отходами своей технологической деятельности – всё это лишь малая часть той проблемы, с которой он столкнулся. Однако всё и не настолько пессимистично. Понимая масштабы происходящего и возможные дальнейшие последствия, люди стали брать под контроль свою деятельность, создавать биосферно-совместимые и природоподобные технологии, реализовать различные технические решения для минимизации вреда от своей же деятельности. Все эти реализации положили начало целому новому направлению – техносферная безопасность. Одной из задач области этой деятельности является создание различных процессов и аппаратов, направленных на снижение негативного и потенциально опасного для окружающей среды и самого человека воздействия. Уже сейчас существует возможность не просто изолировать и предотвратить загрязнение биосферы различными типами отходов, но и повторно использовать их, создавая замкнутый цикл деятельности и производства. Одной из отраслей, для которых применение таких технологий жизненно необходимо и на чем в дальнейшем хотелось бы заострить внимание, является сельское хозяйство.*

Ключевые слова: *экология, аппараты и оборудование, загрязнение окружающей среды, шум.*

ENGINEERING METHODS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

A.O. Kaperzov
Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM»

Abstract. *A person from the very beginning of his appearance actively influences the world around him. Starting with agriculture and ending with the creation of various technical means to simplify his life, he gradually and methodically changed the living shell of the Earth - the biosphere, creating something*

completely new, a shell that is filled with his own creations and transformed into his discretion. This artificial system is called the technosphere. The speed of this transformation process and its scale only grows with time. The state of the environment continues to deteriorate steadily. It has reached the point that the uncontrolled influence of man has become a threat to himself. Depleting natural resources, waste pollution of their technological activities - all this is only a small part of the problem that he faced. However, everything is not so pessimistic. Realizing the magnitude of what is happening and possible further consequences, people began to take control of their activities, create biosphere-compatible and nature-friendly technologies, and implement various technical solutions to minimize harm from their own activities. All these implementations laid the foundation for a whole new direction - technosphere safety. One of the tasks of the field of this activity is the creation of various processes and devices aimed at reducing the negative and potentially dangerous to the environment and human impact. Already now there is an opportunity not only to isolate and prevent pollution of the biosphere with different types of waste, but also to reuse them, creating a closed cycle of activity and production. Agriculture is one of the sectors for which the use of such technologies is vital and for which we would like to focus our attention in the future.

Keywords: *ecology, apparatus and equipment, environmental pollution, noise.*

Введение. Постепенное увеличение численности населения, нерациональное использование природных ресурсов – всё это привело к значительному ухудшению экологии во всех отраслях жизнедеятельности человека. Для агропромышленного комплекса это прежде всего связано с утилизацией техники, различного типа биоотходов. Для борьбы с этой ситуацией разрабатываются и используются различные процессы и аппараты, призванные уменьшить воздействие такой непланомерной деятельности.

Цель исследований. На основании проведённого научного анализа определить наиболее эффективные методы защиты окружающей среды, дать им соответствующую оценку и рекомендации для практического использования в агропромышленном комплексе.

Способы и методы защиты окружающей среды. Защита окружающей среды при разработке систем рециклинга отходов АПК является одним из важнейших условий повышения эффективности работы любого агропредприятия.

В агропромышленном комплексе это связано прежде всего с утилизацией техники, оборудования, биоотходов. Также защита окружающей среды при разработке систем рециклинга отходов АПК является одним из важнейших условий успешной реализации этих проектов.

По видам загрязняющих агентов загрязнение бывает: физическое (тепловое, радиоактивное, шумовое), химическое (тяжелые металлы, пестициды, синтетические поверхностно активные вещества), биологическое (патогенные микроорганизмы, продукты генной инженерии). Для каждого вида загрязнения существует свой способ и метод борьбы с ним. Рассмотрим основные их виды по воздействию на среду обитания [1-8].

Если говорить о загрязнение атмосферы, то основными источниками борьбы являются аэрозоли (пыль, дымы), туманы (масляные, кислотные), газовые смеси (NO_2, CO, NOx, NH_3, H_2S).

Соответственно для каждого из этих загрязнителей существуют свои методы очистки с соответствующим оборудованием (рисунок 1).

Рис.1. Методы очистки аэрозолей

Фильтрация – процесс очистки среды путём прохождения её через пористую перегородку (фильтр). Различают рукавные и рамные фильтры. Перегородка может иметь различную природу, может быть гибкой(ткань, волокно, войлок), полужёсткой(стружка), жесткая (стекло, метал, дерево), зернистая (песчаная засыпка). Выбор типа перегородки зависит от химических свойств газа и физических параметров среды (температура, давление).

Очистка воздуха от туманов и брызг использует те же методы и оборудование, что и очистка от аэрозолей с оглядкой на физику среды. Наиболее часто используемым способом является метод мокрой фильтрации с использование аппаратов распылительного, осадочного и тарельчатого типа.

По-иному обстоят дела с газовыми смесями. Существует достаточно большое количество способов избавиться от этого типа загрязнителя (рисунок 2).

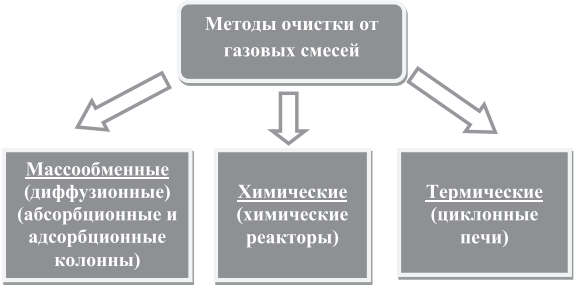


Рис. 2. Методы очистки от газовых смесей

Массообменный процесс – процесс переноса массы из фазы в фазу в направление достижения равновесия. Соответственно основными процессами исполнения этого равновесия будут абсорбция и адсорбция. Абсорбция – процесс избирательного поглощения газов жидким поглотителем (сорбентом). Процесс может протекать без и с химическим взаимодействием (хемосорбция). Аппараты, в которых проходит этот процесс, называют абсорберами. Они могут также быть выполнены в виде распылительной, насадочной и тарельчатой колонны. Аналогичные аппараты используются и в процессе адсорбции – поглощение паров жидкостей, газов твёрдым поглотителем.

Термические методы используют для обезвреживания паров органических

жидкостей и сжигания тонкодисперсной органики. Типичным оборудованием для исполнения данной работы является циклонная печь, в которой продукты горения являются вторичным источником тепла и подогревают газовоздушную смесь.

Вода – наиболее распространённый и важный ресурс для человека. На протяжении всей жизни мы, так или иначе, взаимодействуем с ней, результатом чего является, то, что получило название сточные воды. То есть, вода, бывшая в бытовом, сельскохозяйственном или производственном употреблении, а также прошедшая через загрязнённую территорию. И так как это крайне необходимый ресурс, существует огромное количество способов очистить и привести к исходному состоянию такую воду (рисунок 3).

Гидромеханические методы представляют собой процеживание водного стока при помощи решета и цепей. По сути, используется для очистки крупного мусора, например в период разлива реки. Также используется осветление жидкости во взвешенном слое, который притягивает к себе твёрдые частицы при прохождении суспензии.

Никуда не ушло и фильтрование с отстойниками. Суть их осталась всё та же: действие гравитационных сил на частицу и прохождение через различные пористые перегородки (ткань, насыпная перегородка).

Но гравитационные силы хороши только в случае с крупными частицами. Что насчёт более мелких, то скорость их осаждения будет намного меньше. Поэтому для увеличения эффективности очистки в раствор часто добавляют специальные реагенты: чтобы частицы слиплись вместе или соединились в один целый элемент (коагулянт), либо с образованием крупных, но не соприкасаемых агрегатов (флокулянт). Также для удаления из сточных вод масел, нефтепродуктов, смол используют специальные реагенты: поверхностно-активные и инактивные вещества (ПАВ и ПИВ), которые увеличивают гидрофобность частиц в воде, что позволяет всплывать им в виде пены, которую затем убирают.

Массообменный процесс также используется для очистки стоков с помощью процесса экстракции, ионного обмена и мембран. Экстракция – процесс извлечения жидкого вещества из раствора. Применяется для очистки водных стоков, содержащих масла, фенолы, органические кислоты, ионы металлов и другое. Здесь также применяется адсорбция и её вариация -ионный обмен.

Биохимические методы очистки применяются для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. В их основе – свойство микроорганизмов использовать органические вещества и некоторые минеральные в качестве источника питания. Микроорганизмы от простейших до сложных вступают во взаимодействие с загрязнением и разлагают его до CO_2, H_2O и другие оксиды. Этот процесс может проходить как в присутствие кислорода (аэробное окисление), так и без него (анаэробное).

Сточные воды, содержащие минеральные соли (Ca, Mg, Na), а также органические вещества обезвреживаются термическими методами: концентрирование стоков с последующим выделением растворённых веществ, окисление органических веществ с помощью катализатора и огневое обезвреживание. Выбор метода определяется типом вещества, его концентрацией, составом, токсичностью и коррозийной активностью.

Химические методы позволяют удалять из водных стоков загрязняющие

компоненты, которые невозможно удалить массообменным путём, или обезвреживает концентрированные токсичные компоненты перед биологической очисткой, а также после неё. Основными методами химического обезвреживания являются нейтрализация, окисление, восстановление.

Рис. 3. Методы очистки сточных вод

Ещё одним источником загрязнения наравне с химическими и биологическими загрязнителями является шум [2, 9]. Во всех сферах деятельности человека он или иначе проявляет себя: может мешать восприятию информации, приводить к ухудшению психического состояния, наносить травмирующее действие для уха, а при определённых низких частотах даже совпасть с биологическими ритмами внутренних органов человека. Именно из-за его распространенности и многообразию эффектов воздействия на человека шум рассматривается так же как один из опаснейших физических загрязнителей в техносфере.

Одним из наиболее значимых источников шумового загрязнения является транспорт. Звук, источником которых является автомобильный и железнодорожный транспорт, имеет уровень от 75 до 95 дБ. Безопасный уровень шума для окружающей среды составляет максимум 45-60 дБ. Если рассмотреть причины его генерации, то можно выделить следующие разновидности (рисунок 4):

• механический шум (в результате силового воздействия неуравновешенных вращающихся масс);

• гидродинамический шум (в результате пульсации давления в потоке жидкости вследствие турбулентности, кавитации, перепадов давления);

• аэродинамический шум (в результате выпуска газа в атмосферу, обтекания воздушным потоком тел засчет турбулизации потока, отрыв потока и образование вихревых зон, перемешивание равноскоростных потоков);

• электромагнитный шум (вследствие колебания сердечников электрических машин, шума в зазорах сердечников).

Для того чтобы реализовать методы по борьбе с шумом, нужно для начала определить с чем именно предстоит бороться. Есть два метода решения проблемы шума: борьба в источнике шума и борьба на пути его распростра-

нения. Соответственно, всё, что связано с первым методом, подразумевает как раз выявление причин генерации этого шума и влезание в конструкцию источника шума. Второй метод – использование процессов звукоизоляции (отражение звука от перегородки) и звукопоглощения (необратимый переход в тепловую энергию звуковой энергии засчет трения в порах звукопоглощающего материала). В конструкционном исполнении это выражается как звукоизолирующие капоты, кожухи, глушители.

Рис. 4. Виды шума

Глушители наиболее распространённый способ борьбы с аэродинамическим шумом. Различают реактивные и активные глушители. Физическая суть реактивных глушителей – отражение звуковой волны в обратном направлении при изменении сечения тракта. Активный глушитель работает по принципу необратимого перехода звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале, т.е. засчет сил трения (рис. 5). Также существуют комбинированные глушители, которые используют как способы отражения, так и звукопоглощения в одной конструкции [10].

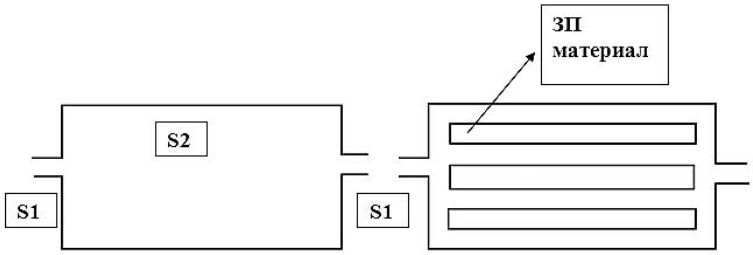


Рис. 5. Схема реактивного и активного глушителей

Выводы: приведенные и описанные в данной статье методы очистки окружающей среды от антропогенного загрязнения дают возможность специализированным инженерным службам экологического направления подобрать оборудование для мероприятий, связанных с защитой окружающей среды. В агропромышленном комплексе проведение такой работы должно носить обязательный характер, так как эта отрасль отвечает за продовольственную безопасность страны.

Библиографический список

1. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию.М.: Химия, 1991. 496 с.

2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. М.: Логос,2008. 424 с.

3. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. М.: Техносфера, 2007. 656 с.

4. Трофименко Ю.В., Воронцов Ю.М., Трофименко К.Ю. Утилизация автомобилей: Научная монография. М.: АКПРЕСС. 2011. 336 с.

5. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия,1987.-96 с.

6. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно – транспортная экология.-М.: Высшая школа,2003. 273 с.

7. Вишняков Я.Д., Васлаев М.А. Система утилизации автотранспортных средств и отходов технического обслуживания//Экология и промышленность России. N10. 2007. С.50-52.

8. Петров Р.Л. О мировом опыте организации национальных систем Авторециклинга//Рециклинг отходов. N 5, 2008. С.2-11.

9. Handbook of Noice and Vibration Control /Ed. Malcolm J.Crocker. N.Y.: John Wiley and Sons, 2007.

10. Трофименко Ю.В., Комков В.И. Снижение вреда окружающей среде при обращении с отходами эксплуатации автомобильного транспортного региона//Автотранспортное предприятие. N5. 2010.С.33-36.

11. Соловьев С.А., Федоренко В.Ф., Игнатов В.И., Герасимов В.С.,Утилизация сельскохозяйственной техники, проблемы и решения // М: Росинфорагротех. Москва, 2015. 171 С.

References

1. Dytnerskii Y. I. Basic processes and apparatuses of chemical technology: a Manual for design. M.:Chemistry, 1991. - 496 p.

2. Ivanov N. I. Engineering acoustics. - M.:Logos, 2008.- 424 p.

3. Ignatovich E. Chemical Engineering. Processes and apparatuses. - M: Technosphere, 2007. 656 p.

4. Trofimenko Yu.V., Vorontsov Yu.M., Trofimenko K.Yu. Car recycling: Scientific monograph.-M.: АКПРЕСС, 2011.-336 p.

5. Planovsky A.N, Nikolaev P.I. Processes and apparatuses of chemical and petrochemical technology.-M .: Chemistry, 1987.-496 p.

6. Lukanin V.N, Trofimenko Yu.V. Industrial-transport ecology.-M.: Higher School, 2003. 273 p.

7. Vishnyakov Ya.D., Vaslaev M.A. The system of utilization of motor vehicles and maintenance waste / / Ecology and Industry of Russia, № 10,2007.-p.50-52.

8. Petrov R.L. World experience of organization of national systems of auto-recycling // Recycling of waste, №5,2008.-p.2-11.

9. Handbook of Noise and Vibration Control / Ed. Malcolm J.Crocker.N.Y.:John Wiley and Sons, 2007.

10. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I. Reduction of harm to the environment when handling waste from the operation of the motor transport region // Auto transport enterprise, No. 5,2010. C.33-36.

11. Solovyov S.A., Fedorenko V.F., Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Utilization of agricultural machinery, problem and decision/ M: Rosinforagrotekh. Moscow, 2015. 171 C.

УДК 631.3:006.052

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ УСКОРЕНИЯ РАБОТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Вера Александровна Казакова, младший научный сотрудник;
Валентина Алексеевна Шинкевич, ведущий инженер;
Елена Михайловна Филиппова, заместитель главного инженера;
Ирина Борисовна Ивлева, ведущий специалист,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, lab-stand@mail.ru

Реферат. *Обоснование целесообразности разработки стандарта организации обусловлено дальнейшим развитием комплекса стандартов организации СТО ВИМСТАНДАРТ. На основании теоретического обоснования необходимости разработки (пересмотра) стандартов и нормативно-технической документации, входящих в систему технического регулирования ФГБНУ ФНАЦ ВИМ , разработан стандарт организации СТО ВИМСТАНДАРТ 002-2017 «Порядок и средства контроля выбросов вредных веществ (CO, CH и NOx) с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при технической эксплуатации в системе АПК». Стандарт разработан впервые с целью внедрения и ограничения требований ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской федерации. Стандарты организаций. Общие положения» и ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН №96) «Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике в отношении выбросов вредных веществ этими двигателями» на базе утративших силу на территории Российской Федерации ГОСТ 17.2.2.05-97 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин» и ОСТ 10.16.0001-98 «Дизели, тракторы и самоходные сельскохозяйственные машины. Выбросы вредных веществ (CO, CH и NOx) с отработавшими газами. Порядок контроля и технической эксплуатации машин АПК». Необходимость разработки стандарта организации обусловлена в первую очередь тем обстоятельством, что стандарт, действующий в настоящее время в Российской Федерации, распространяется на дизели тракторов, выпускаемых заводами-изготовителями, т.е. на новые, еще не эксплуатируемые машины. Разработанный стандарт организации направлен на повышение эффективности и качества проведения контроля выбросов вредных веществ отработавших газов дизелей капитально-отремонтированных тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, находящихся в эксплуатации, работающих в условиях ограниченного и неограниченного воздухообмена. Стандарт устанавливает нормы выбросов, средства их определения при контроле и стендовых испытаниях тракторов и сельскохозяйственных машин. Определены технические характеристики топлива и моторного масла, предназначенного для испытания ди-*

зеля. Оптимизированы современные средства контроля и представлены методики инструментального контроля содержания оксида углерода, углеводородов и оксидов азота в отработавших газах дизелей сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: *тракторы, дизели, сельскохозяйственные машины, выбросы вредных веществ, отработавшие газы, порядок и средства контроля*

THE STANDARD OF THE ORGANIZATION – THE EFFECTIVE INSTRUMENT OF ACCELERATION OF WORKS ON STANDARDIZATION

Vera A. Kazakova, junior researcher;
lab-stand@mail.ru,
Valentina A. Shinkevich, leading engineer;
Elena M. Filippova, deputy chief engineer;
Irina B. Ivleva, leading expert;
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Justification of expediency of development of the standard of the organization is caused by further development of a complex of standards of the VIMSTANDART. On the basis of the oretical justification of need of development (revision) of standards and the specifications and technical documentation which is a part of the system technical regulation FSBSI FSAC VIM the standard of the organization VIMSTANDART 002-2017 «An order and control devices of emissions of harmful substances (CO,CH, NOx) with exhaust gases of diesels, tractors and self-propelled farm vehicles at technical operation in system of agrarian and industrial complex» is developed. The standard is developed for the first time for the purpose of introduction and restriction of requirements of GOST R 1.4-2004 «Standardization in the Russian Federation. Standards of the organizations. General provisions» and GOST R 41.96-2011 (I Governed UNECE N96) «The uniform instructions concerning the engines with ignition from compression intended for installation on agricultural and forest tractors and off-road equipment concerning emissions of harmful substances by these engines» on the basis of GOST 17.2.2.05-97 which became invalid in the territory of the Russian Federation « Nature protection. Atmosphere. Rates and testing methods of harmful substances ejections with exhaust gases from diesel engines, tractors and agricultural machines» and OST 10.16.0001-98 «Diesels, tractors and self-propelled farm vehicles. Emissions of harmful substances (CO, CH and NOx) with exhaust gases. Order of control and technical operation of cars of agrarian and industrial complex». Need of development of the standard of the organization is caused first of all by that circumstance that the standard existing now in the Russian Federation extends on diesels of the tractors released by manufacturers, i.e. on the new, yet not operated cars. The developed standard of the organization is directed on increase of efficiency and quality of monitoring procedure of emissions of harmful substances of with exhaust gases of diesels of the capital repaired tractors and self-propelled farm vehicles which are in operation, working in the conditions of limited and unlimited air exchange. The standard establishes norms of emissions, means of their definition at control and bench tests of tractors and farm vehicles. Technical characteristics of the

fuel and engine oil intended for test of the diesel are defined. Modern control devices are optimized and techniques of tool control of the content of carbon oxide, hydrocarbons and nitrogen oxides in the exhaust gases of diesels of farm vehicles are presented.

Keywords: *the tractors, diesels, farm vehicles, emissions of harmful substances which fulfilled gases, an order and control devices.*

Воздух, загрязненный отработавшими газами дизелей оказывает вредное воздействие на здоровье оператора, окружающую среду, растительный и животный мир.

Параметры проведения технического сервиса всегда являлись объектом государственного технического регулирования. Федеральным законом Российской Федерации «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 №162-ФЗ и Распоряжением Правительства РФ от 24.09.2012 №1762 «Концепция развития национальной системы стандартизации РФ на период до 2020 г.» четко определены понятия, цели, задачи, принципы стандартизации, требования к продукции, процессам производства, сертификации, эксплуатации, хранения, реализации и утилизации, установленные нормативными документами.

Документы в области стандартизации направлены на достижение упорядоченности в сфере производства и обращения продукции (работ, услуг) в сфере АПК.

В настоящее время имеются все предпосылки создания высокоэффективной национальной системы стандартизации технического сервиса АПК. Главной задачей национальной системы стандартизации на некоторый вид продукции и услуг передовых предприятий сферы АПК должна стать разработка стандартов организации.

Цель исследований – разработать стандарт организации, устанавливающий объекты стандартизации и общие положения при разработке и его применения, а конкретно нормы выбросов вредных веществ отработавших газов и средства их определения при контроле и стендовых испытаниях тракторов и с.-х. машин.

Материалы и методы. Анализ отечественной практики технического регулирования в техническом сервисе АПК свидетельствует о том, что принятие только законодательных актов без развития их положений в виде стандартов различного уровня не позволяет достичь целей технического регулирования и, в частности, соблюдения требований безопасности и повышения ресурса агрегатов тракторов на всех стадиях эксплуатации сельскохозяйственной техники [1, 2].

Наличие на предприятиях соответствующих отраслевых нормативных документов в сфере услуг, созданных в соответствии с требованиями межгосударственных и международных стандартов ИСО – гарант качества его продукции, работ и услуг [3-5].

Национальная система стандартизации представляет собой взаимосвязанную совокупность организационно-функциональных элементов, документов в области стандартизации, определяющих, в том числе правила и процедуры стандартизации для осуществления деятельности по установлению требований и характеристик в целях их добровольного многократного ис-

пользования. Документы в области стандартизации направлены на достижения упорядоченности в сферах производства и обращения продукции.

Национальная стандартизация включает в себя комплекс общетехнических стандартов, стандартов по отраслям экономики, стандарты безопасности труда, охраны окружающей среды, жизни и здоровья граждан.

Одним из эффективных инструментов ускорения работ по стандартизации должен стать предварительный национальный стандарт. За основу предварительных национальных стандартов могут быть приняты стандарты организации (СТО).

Учитывая тот факт, что в законе РФ «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 №162-ФЗ отмечено, что при сравнении с действующими в развитых странах стандартов, таких как ISO, API, ASME и другие, основную роль играют не национальные стандарты, а стандарты организаций.

Стандарты эти приобрели статус международных не потому, что кто-то их где-то прописал в законах, а потому, что участники рынка по всему миру признали их как полезными инновациями, содействующими техническому развитию и повышению конкурентоспособности.

На основании проведенного аналитического обзора в соответствии с законом «О стандартизации в Российской Федерации» документами по стандартизации являются:

- документы национальной системы стандартизации;
- общероссийские классификаторы;
- стандарты организаций, в том числе технические условия;
- своды правил;
- документы по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации.

Законом №162-ФЗ установлен порядок разработки и утверждения стандартов организации по ГОСТ Р 1.4 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Как было сказано ранее, главной задачей национальной системы стандартизации на некоторый вид продукции и услуг передовых предприятий сферы АПК должна стать разработка стандартов организаций, а также пересмотр устаревших или утративших силу нормативных документов на территории РФ [4, 5].

Стандарт организации (СТО) устанавливает объекты стандартизации и общие положения при разработке и его применения. Положения стандарта предназначены для применения организациями, расположенными на территории РФ, в т.ч. коммерческими, общественными, научными, а также техническими комитетами по стандартизации.

Стандарт организации должен основываться на современные достижения науки и технологии, на передовом отечественном и зарубежном опыте и учитывать положения национальных стандартов (ГОСТ Р), межгосударственных стандартов (ГОСТ), стандартов зарубежных стран (ИСО, РЭМ, ЕН и др.), а также соответствовать требованиям технических регламентов.

Стандарты организации могут разрабатываться на применяемые в данной организации продукцию, процессы, услуги, а также на полученные в результате научных исследований принципиально новые виды продукции, методы контроля и методы испытаний, в том числе на нетрадиционные технологии,

с целью распространения и использования результатов фундаментальных и прикладных исследований [6-9].

СТО может применяться в следующих случаях:

- для ускорения внедрения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- для освоения принципиально новых видов продукции, методов испытаний и измерений, технологических процессов, в т.ч. нетрадиционных.

Результаты и обсуждение. На основании теоретического обоснования необходимости разработки (пересмотра) стандартов и нормативно-технической документации, входящих в систему технического регулирования ФГБНУ ФНАЦ ВИМ – ведущего научного центра России в области технологического обеспечения сельскохозяйственного производства разработан стандарт организации СТО ВИМСТАНДАРТ 002-2017 «Порядок и средства контроля выбросов вредных веществ (CO, CH и NOx) с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при технической эксплуатации в системе АПК». Разработка настоящего стандарта направлена на реализацию ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», «О науке и государственно-технической политике», Распоряжения Правительства РФ «Концепция развития национальной системы стандартизации», «Об охране окружающей среды».

Стандарт организации рассмотрен и одобрен Секцией «Механизация и автоматизация процессов в АПК» Ученого совета ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в рамках одного из основных направлений научно-технической деятельности:

Разработка методов и средств повышения надежности сельскохозяйственной техники с применением инновационных материалов и нанотехнологий Отдела формирования технологической политики и аналитического прогнозирования.

Стандарт разработан впервые с целью внедрения и ограничения требований ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской федерации. Стандарты организаций. Общие положения» и ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН №96) «Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике в отношении выбросов вредных веществ этими двигателями» на базе утративших силу на территории РФ ГОСТ 17.2.2.05-97 «Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин» и ОСТ 10.16.0001-98 «Дизели, тракторы и самоходные сельхозмашины. Выбросы вредных веществ (CO, CH и NOx) с отработавшими газами. Порядок контроля и технической эксплуатации машин АПК».

Необходимость разработки стандарта организации обусловлена в первую очередь тем обстоятельством, что действующий в настоящее время в РФ ГОСТ Р 41.96-2011, модифицированный по отношению к Правилам ЕЭК ООН №96 и заменяющий утратившего силу в РФ ГОСТ 17.2.2.05-97, распространяется на дизели тракторов, выпускаемых заводами-изготовителями, т.е. на новые, еще не эксплуатируемые машины.

Ресурс таких тракторов и сборочных единиц должен быть 100%. В нашем же случае послеремонтный ресурс тракторов и их дизелей при условии соблюдения правил эксплуатации должен составлять не менее 80% соответ-

ствующих значений показателей новых тракторов и их сборочных единиц, установленных при стендовых испытаниях в одинаковых условиях в соответствии требований ГОСТ 18523-79 «Дизели тракторные и комбайновые. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта. Технические условия» и ГОСТ 18524-85 «Тракторы сельскохозяйственные. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта. Технические условия».

При этом должны быть учтены потери мощности в составных частях тракторов или с.-х. машины, а также испытательного стенда, соединяющих маховик или выходной вал дизеля с нагружающим устройством стенда.

В результате приведенных факторов падения ресурса тракторов и их сборочных единиц, прошедших капитальный ремонт и находящихся в эксплуатации, изменятся удельные значения норм выбросов дизелем вредных веществ с отработавшими газами по сравнению со значениями новых машин [7, 10].

Для повышения ресурса автотракторной техники необходимо расширение рекомендаций по применению нетрадиционной триботехники для очистки и контроля моторных масел, систем смазки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и гидроагрегатов от загрязнений. Перед проведением контроля ДВС обязателен экспресс-контроль моторного масла по «капельной пробе» [8, 9].

Обоснование целесообразности разработки стандарта организации обусловлено:

- дальнейшим развитием комплекса стандартов (СТО ВИМСТАНДАРТ) с учетом проводимых экономических реформ;
- повышением требований к эффективности исследований и разработок, их техническому уровню, качеству и конкурентоспособности;
- изменением законодательных основ в области создания продукции, повышения надежности с.-х. техники с применением инновационных технологий, безопасности работ и услуг.

Статус стандарта организации вытекает из необходимости создания единой нормативной базы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и нормативной базы в рамках Технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 010/2011 и ТР ТС 031/2012 [1, 2].

В стандарте организации СТО ВИМСТАНДАРТ-002-2017 обоснована номенклатура контролируемых параметров (экологических показателей) вредных и опасных производственных факторов на рабочих местах, их нормирование и обозначение норм при ремонте и эксплуатации машин; представлены рекомендации по применению средств контроля выбросов вредных веществ с ОГ дизелей тракторов и самоходных сельхозмашин при технической эксплуатации в системе АПК [7, 10].

Экологические показатели машин подлежат регистрации в нормативно-технической документации:

- технических условиях, подтверждающих соответствие машин существующим нормам экологической безопасности отремонтированных дизелей, тракторов и машин при выпуске их из ремонта, при периодических и сертификационных испытаниях в установленном порядке (Акты проверки технического состояния по параметрам безопасности);
- ремонтных документах сельскохозяйственной техники (раздел «Обкатка и испытание»);
- эксплуатационных документах сельхозтехники (наладка, обкатка и ис-

пытание).

Выводы.

Внедрение стандарта организации СТО ВИМСТАНДАРТ 002-2017 позволит:

- установить оптимальный перечень операций проведения испытаний и контроля выбросов вредных веществ ОГ дизелей;
- расширить технологические рекомендации по предотвращению отказов и неисправностей машин, используя методы контроля, современные методы повышения ресурса и работоспособности изношенных машин.
- сократить затраты на проведение работ по условиям труда при аттестации сельскохозяйственных машин и их агрегатов.

СТО ВИМСТАНДАРТ 002-2017 не распространяется на малогабаритные тракторы и другие мобильные средства малой механизации и дизели к ним.

СТО ВИМСТАНДАРТ 002-2017 применяется в отношении выбросов вредных газообразных веществ двигателей с воспламенением от сжатия, используемых на транспортных средствах категории Т (механические транспортные средства и прицепы) и самоходные сельскохозяйственные и лесохозяйственные машины.

Требования настоящего стандарта подлежат соблюдению и применению структурными подразделениями и филиалами ВИМ, а также может использоваться другими организациями в своих интересах только по договору (контракту) с ВИМ.

Библиографический список

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования». М.: утв. Комиссия Таможенного союза от 18.10.2011 N823. 60 с.

2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 031/2012 «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним». М.: принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20.07.2012. N60. 60 с.

3. Казакова В.А., Шинкевич В.А., Филиппова Е.М., Ивлева И.Б. и др. Соответствие стандартам основных требований безопасности к машинам, прошедшим техническое обслуживание // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 67-70.

4. Буренко Л.А., Филиппова Е.М., Казакова В.А., Ивлева И.Б. Безопасный ремонт техники // Сельский механизатор. 2012. N12. С. 34-36, 39.

5. Дунаев А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А. Актуальность стандартов по техобслуживанию и ремонту сельхозтехники // Стандарты и качество. 2018. N1. С. 36-38

6. Колчин А.В., Буренко Л.А., Шкункова М.В., Филиппова Е.М., Саяпин С.Н., Каргиев Б.Ш., Ивлева И.Б. Комплект методик инструментального контроля условий труда при аттестации рабочих мест и сертификации работ при техническом сервисе тракторов и сельхозмашин. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2005. 340 с.

7. Колчин А.В., Буренко Л.А., Шкункова М.В., Филиппова Е.М., Саяпин С.Н., Каргиев Б.Ш., Ивлева И.Б. Комплект методик инструментального контроля условий труда при эксплуатации тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. М.: Росинформагротех. 2004. 80 с.

8. Дунаев А.В., Филиппова Е.М. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития. М.: ГОСНИТИ, 2017. 255 с.

9. Дунаев А.В., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю. Технологические рекомендации по

повышению ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным маслам. М.: Росинформагротех. 2013. 96 с.

10. Буренко Л.А., Казакова В.А., Ивлева И.Б. Пост технического диагностирования // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т.124. С. 51-55

References

1. Technical regulations of the Customs union of TR of the HARDWARE 010/2011 «About safety of cars and the equipment». Commission of the Customs union of 18.10.2011 N823: 60.

2. Technical regulations of the Customs union of TR of the HARDWARE 031/2012 «About safety of agricultural and silvicultural tractors and trailers to them». N60: 60 is accepted by the Decision of Council of the Euroasian economic commission of 20.07.2012.

3. Kazakova V.A., Shinkevich V.A., Filippova E.M., Ivleva I.B., etc. Compliance to standards of the main safety requirements to the cars which passed maintenance // Works of the STATE THREAD. 2017; T. 127: 67-70.

4. Burenko L.A., Filippova E.M., Kazakova V.A., Ivleva I.B. Safe repair of equipment // Rural machine operator. 2012; N12: 34-36, 39.

5. Dunayev A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Aktualnost of standards on servicing and repair of agricultural machinery // Standards and quality. 2018; N1: 36-38

6. Kolchin A.V., Burenko L.A., Shkunkova M. V., Filippov E.M., Sayapin S.N., Kargiyev B.Sh., Ivleva I.B. Komplekt of techniques of tool control of working conditions at certification of workplaces and certification of works at technical service of tractors and agricultural cars. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2005: 340.

7. Kolchin A.V., Burenko L.A., Shkunkova M. V., Filippov E.M., Sayapin S.N., Kargiyev B. Sh., Ivleva I.B. Komplekt of techniques of tool control of working conditions at operation of tractors and self-propelled farm vehicles. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2004: 80.

8. Dunayev A.V., Filippova E.M. A nonconventional tribotekhnika for increase of a resource of autotractor equipment. Results of 25 years' development. - Moscow: FGBN GOSNITI, 2017: 255.

9. Dunayev A.V., Lyalyakin V.P., Solovyov R. Yu. Technological recommendations about increase of a resource of units of tractors repair and recovery additives to lubricant oils. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013: 96.

10. Burenko L.A., Kazakova V.A., Ivleva I.B. Post of technical diagnosing // Works of the STATE THREAD. 2016; T. 124: 51-55

УДК 631.173

СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ СЕЛЬХОЗМАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Николай Алексеевич Петрищев, кандидат технических наук;
Алексей Алексеевич Данков, старший научный сотрудник;
Игорь Михайлович Макаркин, старший научный сотрудник;
Артемий Романович Поспелов, младший научный сотрудник;
Александр Сергеевич Саяпин, младший научный сотрудник;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: gosniti14@mail.ru

Реферат. *В работе представлены разработки, а также предложения для контроля технического состояния агрегатов трансмиссии, гидропривода, ведренные на предприятиях, входящих в структуру АО «Петербургский тракторный завод», АО «Гидросила». Показано, что в условиях роста производства сельскохозяйственной техники конечный потребитель предъявляет высокие требования к качеству продукции для минимизации сверхнормативных издержек при владении техникой. На примере АО «Петербургский тракторный завод» показаны задачи развития менеджмента качества, производственной системы для минимизации потерь, влияющих на эффективность деятельности. Описаны внедренные и перспективные системы контроля технического состояния на разработанном контрольно-диагностическом оборудовании, позволяющие проводить технологический и организационный анализ работы по утвержденным критериям и стандартам. Приведен пример поисковых исследований технологии нейронных сетей для дальнейшего внедрения при входном контроле качества изготовления и ремонта, позволяющий распознавать дефекты или отклонения от эталонных значений при проведении тестовых замеров на контрольно-диагностическом оборудовании.*

Ключевые слова: *контрольно-диагностическое оборудование, технический сервис, стратегия развития сельхозмашиностроения, дилер, энергонасыщенная техника.*

QUALITY CONTROL FACILITIES FOR THE SOLUTION OF PROBLEMS OF THE PRODUCTION SYSTEM AGRICULTURAL MECHANICIANS

Nikolay A. Petrishchev, PhD(Eng.), leading researcher, head of the laboratory, development of technologies and diagnostic tools of agricultural machinery;
Alexey A. Dankov, senior research associate of laboratory, development of technologies and diagnostic tools of agricultural machinery;
Igor M. Makarkin, senior research associate of laboratory, development of technologies and diagnostic tools of agricultural machinery;
Artemy R. Pospelov, junior researcher of laboratory, development of technologies and diagnostic tools of agricultural machinery;
Alexander S. Sayapin, junior researcher of laboratory, development of technologies and diagnostic tools of agricultural machinery, Federal scientific agroengineering center VIM

Abstract. *In work developments and also offers for control of technical condition of units of transmission, a hydraulic actuator of the Veda-rennye are presented on the enterprises entering into structure of JSC Petersburg Tractor Plant, JSC Gidrosila. It is shown that in the conditions of increase in production of agricultural machinery the end user imposes high requirements to quality of products for minimization of above-standard expenses at knowledge of the equipment. On the example of JSC Petersburg Tractor Plant problems of development of quality management, a production system for minimization of the losses influencing efficiency of activity are shown. The implemented and perspective control systems of technical condition on the developed control and diagnostic equipment the works on the approved criteria and standards allowing to carry out the technology and organizational analysis are described. The example of basic researches of technology of neural networks for further implementation at incoming inspection of quality of production and repair allowing to distinguish defects or deviations from reference values when carrying out test measurements on the control and diagnostic equipment is given.*

Keywords: *control and diagnostic equipment, technical service, strategy of development of agricultural mechanical engineering, dealer, power saturated equipment.*

Введение. Реализация программ субсидирования №1432 и импортозамещения дала импульс на обновление машинно-тракторного парка в РФ, например, рост реализации энергонасыщенных тракторов производства АО «Петербургский тракторный завод» за три года составил более чем 4,5 раза, рост рынка зерноуборочных комбайнов в России в 2016 году составил 6 340 ед., рост рынка по отношению к соответствующему периоду 2015 года составил 24,6%, а по прогнозу Минпромторга рост производства дорожно-строительной техники в 2017 составит более чем на 30% [1-3]. В условиях наблюдаемого роста производства и конкуренции производителей сельскохозяйственной техники в РФ конечный потребитель повышает требования к ее технико-экономическим показателям, наличию развитой дилерской сети, с развитой сервисной службой.

Для эффективного ведения сельскохозяйственного производства и реализации современных технологий возделывания культур необходимо использовать современную и высокопроизводительную технику, поэтому сельскохозяйственные предприятия особое внимание должны уделять качественному техническому обслуживанию и ремонту техники [4-6].

В связи с появлением нового управленческого менеджмента на предприятиях сельхозмашиностроения изменилась производственная система. Произошел постепенный отход от тэйлоровского периода управления производством, когда работа по контролю осуществлялась только специальным подразделением, а рабочие были исполнителями установленных для них технических и производственных норм [7]. В новых экономических реалиях отдельная служба контроля – это избыточный персонал, который снижает общую производительность труда, так как они ничего не производят, при этом происходит задержка передачи данных от службы контроля к производству, и современные требования управления не оставляют шансов на выживание предприятию, которое придерживается старых жестких иерархичных структур.

Цель исследований. Внедренная в АО «ПТЗ» система менеджмента качества, производственная система на основе философии систем: 5S, Toyota Production System и принципов «Бережливого производства» и др., позволяет эффективно распределять ресурсы, повышает прибыльность предприятия без значительных инвестиций. Она ориентированна на борьбу с потерями всех видов и во всех сферах деятельности организации, отражает совершенно иную культуру организации, принципиально иной стиль менеджмента и новый стиль мышления. Целями производственной системы АО «ПТЗ» являются: научиться видеть и бороться с потерями (рисунок 1), фиксировать, анализировать и устранять; построение эффективной системы по анализу и решению проблем, построение системы по сбору и анализу информации о простоях и их устранению, а в идеале: безопасность (физическая и психологическая), отсутствие дефектов; по первому требованию заказчика, одно за другим, мгновенная реакция поставщика, минимальные затраты. В конечном итоге система менеджмента качества призвана обеспечить качество выпускаемой продукции и предоставляемых услуг и «настраивать» это качество на ожидания потребителей. При этом её главная задача – не контроль, а создание системы, которая позволит не допускать появления ошибок [8].

Рис. 1. Потери, влияющие на эффективность производства АО «ПТЗ»

Результаты и обсуждение. При реализации планов НИР и НИОКР лаборатории разработки технологий и средств диагностики сельскохозяйственной техники ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на 2016-2020 гг. особое внимание уделяется соответствию производственным системам ведущих предприятий сельхозмашиностроения РФ, а это, в свою очередь, требует комплексного подхода к совершенствованию контрольно-диагностического и сервисного оборудования, являющегося важным звеном в структуре системы контроля качества, как при изготовлении техники, так и при ее сервисном обслуживании в течение жизненного цикла официальными дилерами.

Так, на участке сборки и проверки коробок перемены передач (КПП) тракторов сельскохозяйственного и промышленного назначения в АО «ПТЗ» (цех №225) для оценки качества изготовления были разработаны и внедрены стенды для обкатки КИ-28340 (рис. 2а), контроля качества сборки ведущих валов КИ-28326. Причем в стенде КИ-28340 внедрена электронная система измерения и записи параметров процесса обкатки на основе оборудования и программного обеспечения фирмы «ОВЕН». При этом в конструкцию стенда были внесены минимальные изменения, связанные с прокладкой кабелей линии связи RS-485 и установкой преобразователя интерфейса для подключения системы сбора данных к ПК через разъем USB. В качестве обрабатывающей параметры обкатки КПП программы на ПК взята за основу

и доработана SCADA-система OWEN PROCESS MANAGER, позволяющая осуществлять сбор информации с четырех стендов на один ПК (рис. 2б). При обкатке КПП на данном стенде контролируются основные рабочие характеристики – крутящий момент при различных скоростях вращения ведущего и раздаточных валов, температура масла, давление в системах управления и смазки, автоматически высчитывается мощность, затрачиваемая на вращение (мощность потерь), производительность насоса, работа штатного датчика. Все эти данные записываются в архив с серийным номером обкатываемого агрегата, датой и временем проведенного процесса. Частота записи параметров – раз в секунду. Так же происходит запись данных и во время испытания коробки на динамических режимах, и, например, по ним можно определить и оценить пиковые нагрузки при разгоне и торможении коробки передач при помощи данных с управляемого электропривода стенда, а также время простоя. Все записанные данные в любой момент времени можно для наглядности, вывести на экран монитора в цифровом или графическом виде, произвести импорт табличных числовых значений в другое, стороннее ПО для последующего технологического и организационного анализа, позволяющего оперативно выявлять сбои ритма работы участка в целом.

а) *б)*

Рис. 2. Общий вид участка контроля качества и обкатки КПП: а – стенды КИ-28340 (4 шт.); б – стойка с ПК для сбора данных процесса обкатки

Для более глубокого и точного анализа переходных процессов при обкатке КПП на стенде применено дополнительное оборудование, напрямую, без переделок, параллельно подключенное к датчикам, установленным в стенды. Его отличительная особенность – быстродействие и высокая разрешающая способность (рис. 3а). Для этого мы выбрали оборудование фирмы L-CARD – L-card E140V, как универсальный, надежный и быстродействующий прибор для сбора параметров со стандартных датчиков, устанавливаемых в КПП и стенде. Все измеряемые системой параметры записывались с частотой около 1 кГц и одновременно выводились на монитор компьютера в виде графиков, что позволило изучить переходные процессы в КПП при переключении передачи, а именно – скачки давления в магистралях механизма переключения передач, гидроаккумулятора, усилия перемещения рейки МПП на рычаге (рис. 3б), изменения величин крутящего момента и потребления мощности при реализации динамических режимов обкатки.

Для расширения возможностей при оценке качества ремонта агрегатов гидропривода и гидростатических трансмиссий самоходной сельскохозяйственной, дорожно-строительной, специальной техники в условиях дилеров был модернизирован стенд КИ-28097М-03 (рис. 4), который позволяет ис-

пользовать вышеназванные системы контроля. Это позволяет осуществлять оценку технического состояния гидроагрегатов по стато-параметрическому способу диагностирования, что минимизирует риски при дальнейшем использовании агрегатов, не соответствующих номинальным параметрам заводов-производителей.

а) *б)*

Рис. 3. Оценка и визуализация переходных процессов при контроле качества сборки КПП: а – графическая интерпретация переходных процессов при переключении передач на динамических режимах; б – оценка усилия перемещения рейки МПП при обкатке КПП

Модернизированный образец стенда дооснащен следующими дополнительными системами и устройствами: используется частотный преобразователь, позволяющий осуществлять плавный пуск, регулирование частоты вращения приводного вала, отслеживать уровень загрузки привода для оценки механического и полного КПД испытуемого агрегата, увеличена мощность электродвигателя с 45 кВт до 55 кВт, цифровая система для контроля объемной подачи гидроагрегатов, клапанная система питания рабочей жидкости при испытании гидромоторов, система нагрева и термостабилизации рабочей жидкости.

Рис. 4. КИ-28097 М-03 для контроля агрегатов гидропривода в условиях сервисных центров дилеров АО «ПТЗ» и АО «Гидросила-ГРУПП»

Приоритетным этапом на ближайшую перспективу является применение технологии нейронных сетей для решения задач контроля и диагностики в развитии системы менеджмента качества изготовления и ремонта агрегатов и узлов трансмиссии энергонасыщенной техники в связи с быстрым развитием аппаратных возможностей по использованию методов интеллектуального анализа, которые уже в настоящий момент способны обеспечить повышение качества распознавания технического состояния. Анализ материалов в области контроля и диагностирования показал, что такие работы ведутся,

но в настоящее время из-за узкой специализации задач не находят широкого применения в производственных системах предприятий сельхозмашиностроения. Проведено поисковое применение технологии нейронных сетей для диагностирования технического состояния КПП К-744. Задача контроля технического состояния сводилась к следующему:

- определить, к какой категории (Y) (1- эталонное состояние; 2- допускаемое состояние; 3- предельное состояние) относится диагностируемая КПП по входным данным факторам-аргументам: X1 – потребляемая мощность при включении тормозков-синхронизаторов за 5 сек, кВт; X2 – крутящий момент при включении тормозков-синхронизаторов за 5 сек, Нм; X3 – усилие при перемещении рычага МПП, Н; X4 – давление в МПП, МПа; X5 – давление в системе смазки, МПа; X6 – подача насоса л/мин; X7 – время восстановления давления в МПП, сек; X8 – уровень шума, дБА; X9 – крутящий момент на приводе, Нм; X10 – потребляемая мощность, кВт; X11 – скорость нарастания температуры рабочей жидкости, град/сек; X12 – прирост температуры после переключения МПП, ºС;

- произвести обучение по распознаванию часто встречающихся дефектов при нахождении Y в категории 3. Предварительно входные данные формировались в Microsoft Excel, была составлена матрица исходных данных из 15 выборок параметров с известной категорией согласно экспертным оценкам специалистов завода-производителя и дилеров для последующего машинного обучения системы, нейронная сеть была реализована с применением пакета программы Matlab с инструментом Neural Net Fitting, имеющим вид (рис. 5).

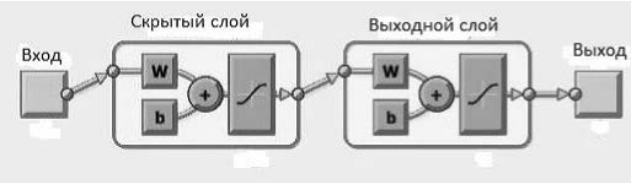


Рис. 5.Схема реализации Neural Net Fitting
Вход – факторы-аргументы параметров состояния КПП
Выход – категория состояния

После формирования нужного количества входов и выходов, проводим обучение сети по следующему алгоритму: выбор данных в матричном виде в Matlab (Matrix laboratory); проверка тестовых данных; распределение данных между проверкой, обучением и тестированием. Далее существует несколько вариантов представления полученной сети. Использовалась среда симуляции Simulink Matlab. Поскольку для более корректной работы сети по всей области определения параметров нужно больше данных, то для начальной работы и по мере заполнения нейросети данными требуется помощь по экспертному определению дефектов в КПП и последующая проверка на превышение допустимого значения каждого параметра с реализации возможностей Matlab. Итоговая программа представлена в виде скрипта, которые запускает нейросеть в Simulink для проверки технического состояния (рис. 6).

Такая проверка состояния КПП в два этапа обеспечивает относительно точную оценку состояния КПП и без наличия базы состояний, а по мере обучения нейросети достоверность будет только повышаться. Дальнейшая ра-

бота заключается в разработке системы автоматического пополнения базы данных дефектов для пересчета модели.

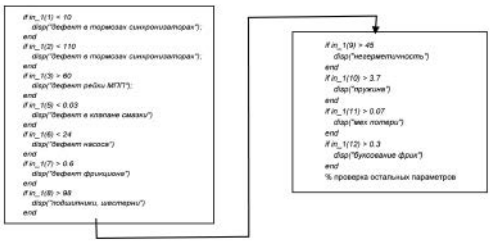


Рис. 6. Скрипт модели проверки по входным параметрам состояния КПП

Нейросети, обладая простой структурой, являются мощным инструментом по интерпретации данных, и их работу определяют только данные, качество и количество. Таким образом, с помощью этой технологии планируется распознавать сложные состояния КПП, не проектируя математическую модель, а также аккумулировать всю информацию об измерениях.

Заключение. При совершенствовании способов, методов контроля качества ремонта и контрольно-диагностического оборудования сельскохозяйственной техники должен быть сформирован комплексный подход при реализации этапов Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года, направленных на ускоренное обновление парка сельскохозяйственной техники, финансовую стабильность предприятий отрасли.

Библиографический список

1. Задачи и возможности для сохранения устойчивости роста в АПК [Электронный ресурс] URL http://atf.rosspetsmash.ru/upload/iblock/005/ serebryakov-s.a..pdf.

2. Российский рынок сельхозтехники в 2016 году [Электронный ресурс] URL https://agroinfo.com/2303201704-rossijskij-rynok-selxoztexniki-v-2016-godu/

3. Обзор рынка строительно-дорожной техники в России: восстановление после падения [Электронный ресурс] URL http://www.rosagromash.ru/ rosspetsmash-v-smi/1859-proizvodstvo-stroitelno-dorozhnoj-tekhniki-v-rossii-vyroslo-na-34.

4. Сенин П.В., Ионов П.А. Анализ состояния машинно-тракторного парка и перспективы развития ремонтно-обслуживающей базы АПК Республики Мордовия // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф.Х. Бурумкулова. Саранск. 2016. С. 21-26.

5. Дорохов, А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2015. N 1 (65). С. 31-35.

6. Дорохов, А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. и др Технический сервис как основная составляющая инженерно-технического обеспечения агропромышленного комплекса //Управление рисками в АПК. 2016.N4. С. 46-57.

7. Контроль качества продукции: Конспект лекций // Тбилиси: Технический университет – «Центр информатизации», 2005. 234 с.

8. Политика в области качества [Электронный ресурс] URL http://kirovets-ptz.com/company/politika-v-oblasti-kachestva.

9. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Солодкина Л.А., Соловьев С.А., Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве // М.: ГОСНИТИ. Москва, 2013. 298 с.

References

1. Tasks and opportunities for maintaining stability of growth in agrarian and industrial complex [An electronic resource] of URL http://atf.rosspetsmash.ru/ upload/iblock/005/ serebryakov-s.a..pdf (Date of the address 01.10.2017).

2. The Russian market of agricultural machinery in 2016 [An electronic resource] URL https://agroinfo.com/2303201704-rossijskij-rynok-selxoztexniki-v-2016-godu / (Date of the address 11.11.2017).

3. The overview of the market of the construction and road equipment in Russia: recovery after falling [An electronic resource] of URL http://www.rosagromash.ru/ rosspetsmash-v-smi/1859-proizvodstvo-stroitelno-dorozhnoj-tekhniki-v-rossii-vyroslo-na-34. (Date of the address 11.11.2017).

4. Senin P.V. The analysis of a condition of the machine and tractor park and perspective of development of the repair servicing agrarian and industrial complex Respubliki Mordoviya base/P.V. Senin, P.A. Ionov // Saransk: Energy efficient and resource-saving technologies and systems. The collection of scientific works of the international scientific and practical conference devoted to memory of the Doctor of Engineering, professor F.H.Burumkulov. 2016. 21-26.

5. Dorokhov A.S. Effektivnost of assessment of quality of agricultural machinery and spare parts/ A.S. Dorokhov // Bulletin of Federal public educational institution of higher professional training Moscow state agroengineering university of V.P. Goryachkin.- 2015. N1 (65). 31-35.

6. Dorokhov, A.S. Technical service as the main component of technical providing agro-industrial complex / A.S Dorokhov, V.M. Korneev, Yu.V Katayev etc.// Risk management in agrarian and industrial complex. 2016. N4. 46-57

7. Quality control of products: Abstract of lectures. Tbilisi: The technical university – «The center of informatization». 2005. 234.

8. Policy in the field of quality [An electronic resource] of URL http://kirovets-ptz.com/ company/politika-v-oblasti-kachestva/ (Date of the address 11.11.2017).

9. Chernoivanov V.I., Lyalyakin V. P., Solodkina L.A., Solovyov S.A., Forming of the investment mechanism in the field of technical service in the agricultural industry/M: STATE THREADS. Moscow, 2013. 298.

УДК 338.43

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ К 2020 ГОДУ

Петр Алексеевич Табаков, кандидат технических наук, профессор,
Денис Игоревич Федоров, кандидат технических наук, доцент,
Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Чебоксары, Российская Федерация;
Зоя Николаевна Мишина, старший научный сотрудник,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: zoy4538@mail.ru,

Реферат. *Для решения продовольственной безопасности ЧР были приняты три программы в статье рассмотрены итоги выполнения этих программ. Приведены расчеты производство продукции сельского хозяйства на душу населения Чувашской Республики в 2016 году по сравнению с 1990 годом и медицинскими нормами. Также приведены расчеты производства требуемого количества продукции сельского хозяйства согласно медицинским нормам питания. Произведен анализ выполнения трех республиканских программ по развитию сельского хозяйства и увеличению производства продуктов питания для населения. В виду невыполнения всех трех программ по развитию сельского хозяйства предложен более конкретные расчеты с доведением производства необходимого количества продуктов питания в разрезе муниципальный районов республики с учетом обеспечения продуктами сельского хозяйства и городского населения. Приведены расчеты по количественному производству основных продуктов питания в натуральных объемах на посевных площадях муниципальных районов. Рассчитано необходимое количество основной сельхозтехники, приведено количество имеющихся в данное время тракторов и зерноуборочных комбайнов в республике в сравнении с 1990 годом. Сельскохозяйственная техника и энергетическая мощность с каждым годом уменьшается, заводы уничтожаются. Агропромышленный комплекс России умышленно и целенаправленно разрушается. Парк техники АПК изношен на 60-70 процентов, производство сельскохозяйственной техники сократилось более чем в 10 раз, многие заводы уничтожены или уничтожаются. Аграрная наука находится в состоянии агонии, многие научно-исследовательские институты уничтожены.*

Ключевые слова: *производство сельхозпродуктов, продовольственная безопасность, программы развития АПК, техническое обеспечение сельского хозяйства.*

ENSURING FOOD SECURITY OF THE CHUVASH REPUBLIC BY 2020

Petr A. Tabakov, candidate of technical Sciences, Professor,
Denis I. Fedorov, candidate of technical Sciences, associate Professor,
Cheboksary Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Russia,

- ***Zoya N. Mishina, senior researcher***
Federal Research Center of Agricultural engineering VIM, Russian Federation, Moscow

Abstract. *To address the food security of the Czech Republic was accepted three programs in the article the outcomes of these programs. The calculations of agricultural production per capita in the Chuvash Republic in 2016 compared with 1990 and medical standards. Also calculations of production of the required quantity of agricultural production according to medical standards of food are resulted. The analysis of implementation of three Republican programs on development of agriculture and increase in production of food for the population is made. In view of the failure of all three programs for the development of agriculture proposed more specific calculations to bring the production of the required amount of food in the context of municipal districts of the Republic, taking into account the provision of agricultural products and urban population. Calculations on quantitative production of basic foodstuffs in natural volumes on sown areas of municipal districts are given. The necessary quantity of the main agricultural machinery is calculated, the quantity of tractors and combine harvesters available at present is given in the Republic in comparison with 1990. Agricultural machinery and energy capacity is decreasing every year, plants are destroyed. Russia's agro-industrial complex is being deliberately and purposefully destroyed. The agricultural machinery Park is worn out by 60-70%, the production of agricultural machinery decreased by more than 10 times, many plants are destroyed or destroyed. Agrarian science is in a state of agony, many research institutes are destroyed. Farmers will not feed our country, it is the past, not the future of our country. If my Republic does not meet the requirement of food security, I think they are not being met in Russia.*

Keywords: *Agricultural products production, Food safety, Agro-industrial complex development programs, Agricultural technical support.*

Ни одна из существующих отраслей в России не имеет столько проблем, как сельское хозяйство. Кроме того, эта отрасль является важнейшей – эта вторая отрасль материального производства, это отрасль – обеспечивающая продуктами питания населения страны и обеспечивающая продовольственную безопасность и выживание страны в условиях всевозможных санкций

Производство продуктов питания является самым первым условием жизни людей всякого производства вообще. Этим характеризуется жизненно важная роль, которую выполняет сельское хозяйство в любом обществе.

С древнейших времен первой обязанностью правителя является обеспечение граждан продовольствием.

Но, как ни прискорбно, Россия, в том числе Чувашия, все глубже погружается в пучину продовольственной зависимости. Введение Евросоюзом санкций против России и принятие ответных экономических мер показали проблемы и приоритеты развития аграрного комплекса РФ. Здесь ясно высветились приоритеты нашего развития, то, что мы попали в недопустимо высокую зависимость от импорта пищевой продукции, и слабость нашего аграрного комплекса, который необходимо восстанавливать. Экономика России всегда держалась на трех китах – АПК, ВПК и добывающая промышленность. АПК сегодня у нас находится в самом тяжелом положении.

Сельскохозяйственное производство создает основу обеспечения продовольственной безопасности государства. В этом исследовании авторы пытались разобраться, в причинах невыполнения программ продовольственной безопасности Чувашской Республики.

I. В целях обеспечения продовольственной безопасности в республике были приняты ряд программ по развитию агропромышленного комплекса. Так в программе на 2004-2010 годы, утвержденной постановлением Кабинета Министров ЧР от 25.11.2003г. №287, было предусмотрено производство основных видов сельхозпродукции во всех категориях хозяйств к 2010 году довести до следующих объемов в год:

Таблица 1

Контрольные цифры целевой программы ЧР на 2004-2010 гг. и их фактическое выполнение (в тыс.тонн)

Наименование	Факт. в 1990г.	План на 2010г.		2004		2006		2008		2009	
		план	факт	план	факт	план	факт	план	факт	план	факт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зерно	1079	900	128	686	323	726	426	802	523	853	573
Картофель	931	997	301	772	693	997	689	997	782	997	709
Овощи	89,6	250	90	167	193	210	190	227	101	236	100
Хмель	2,6	2,5	0,02	1,2	0,4	1,4	0,2	1,5	0,27	1,6	0,3
Мясо скота и птицы (Живом весе)	173,2	130	108	103	99,7	125	97,6	128	107	129	113
Молоко	619	600	494	490	463	541	459	550	493	580	495
Яйца (млн. шт)	383	306	284	220	276	303	315	304	267	305	286
Приобретение новых тракторов (шт.)	1557	100	53	100	75	100	99	100	138	100	33
Приобретение зерноуб. комбайнов (шт.)	554	45	14	40	33	40	47	45	58	45	24
Внесение минераль. удобрений на 1 га (кг)	155	105	27	30	23	57	24	85	32	103	33
Внесение органич. удобрений на 1 га (тонн)	5,6	5,9	1	4,8	1	5,1	0,9	5,5	1,1	5,6	1,1

Из таблицы 1 видно, что при составлении целевой программы на 2004-2010 годы на достижения объема производства, на 2010 год был запланирован объем гораздо меньший, чем достигнутый объем производства в 1990 году. Это через 20 лет так называемых реформ, предусмотрены затраты на финансирование развития агропромышленного комплекса за годы реализации Программы сумма 14,732 млрд рублей. И за семь лет развития АПК получили продукцию в разы меньшую, чем предусмотрено программой и фактически достигнутым объемом производства в 1990 году. Основная причина невыполнения предусмотренных объемов продукции с/х из-за невыполнения планов по техническому перевооружению с/х .

II. В целях увеличения производства продукции сельского хозяйства была принята следующая целевая программа «Техническое перевооружение агропромышленного комплекса ЧР на 2009-2012 годы» и утверждена приказом Министерства сельского хозяйства ЧР от 11 августа 2009 года, №114. На эти цели предусмотрено финансирование в размере 7,679 млрд рублей. Где констатируется, что без приобретения более энергонасыщенной и высокопроизводительной техники развитие сельского хозяйства невозможно. И поставлена задача довести энергообеспеченность л.с. на га пашни: 2009 г. 1.70, 2010 г. 1,75, 2011 г. 1,83, 2012 г. 1,92. Как это – в плановом

порядке предусмотреть такие очень маленькие энергетические мощности, ведь в 1990 году у нас был энергетическая мощность в размере 5,1 л.с на га, как это – через 22 года реформ сельскому хозяйству планировать более чем в 2 раза меньшую энергетическую мощность?

В этой программе предусмотрено ежегодно приобретать 250 тракторов, фактически – 64 шт., 100 зерноуборочных комбайнов-факт. 25 шт. Может программа не выполнена из-за не выделения денег, предусмотренных на программу, в сумме 7,6 млрд руб. Вот невыполнение программы технического перевооружения привел к невыполнению объемов производства продуктов сельского хозяйства.

III. Следующая программа называется «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынка сельхозпродукции, сырья и продовольствия Чувашской республики» (с изменениями от 28.02.2017). Принята на 2013-2020 годы, утверждена постановлением кабинета министров ЧР от 18 декабря 2012г. № 567, на выполнение программы предусмотрено более 70 млрд. руб. В первой части программы приведен экономический анализ производства сельхозпродукции за 2011 год, по сравнению 2010 годом, когда ввиду засухи объемы производства были весьма скромными. И показано, «как возрождается сельское хозяйство». В основном цитируется индексы производства, а не фактические его объемы. В одном месте приведены контрольные цифры производства продукции с/х в 2020 году:

Таблица 2

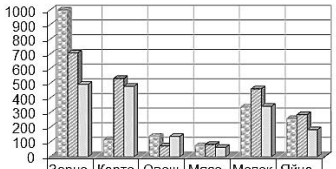
Ожидаемые и фактические объемы производства сельхозпродукции в ЧР (тыс. тонн)

№ п/п	Наименование	План на 2020г.по программе	Факт. за 1990г.	План 2020г. к факт.1990. в %	Фактически		
					2014	2015	2016
1.	Зерно	1005	1079	93	554	556	609
2.	Картофель	1010	997	101	580	700	593
3.	Овощи	183	89,6	204	143	150	170
4.	Скот и птица (живом весе)	138	173,2	79,6	99	115	116
5.	Молоко	600	619	93	420	424	425

Из таблицы 2 видно, что запланированные объемы производства на 2020 год меньше фактического объема 1990 года, кроме объема производства овощей, где предусмотрено двойное увеличение объема. Но если посмотрим фактический объем производства овощей за 2016 год, то видим, что из общего 170,7 тыс. т. производства, хозяйства населения произвели 126,6 тыс. тонн, или 74,2% общего объема овощей. Как деревенский житель могу сказать, что этот объем никто не измерял, хотя и очень просто его достоверно измерить, привлекая депутатов сельских поселений, где каждому, придется летом, пешком, пройти по огородам двух улиц и заполнить заранее приготовленные бланки, с хозяевами огородов и нет необходимости встречаться. В деревне в огородах видно, что растет, никакие миллиарды тратить на сельхозперепись не надо, за неделю все можно переписать, только в Москве энергичный министр нужен, достойный сельским жителям. А то после очередного назначения Федерального министра, неделю на себя в зеркало смотреть не хочется, стыдно. В Республике все министры с/х были опытными специалистами, но не могли удержать развал, идущий из Москвы, где в министерствах России сидят случайные люди, неспециалисты своей отрасли. По моим расчетам, чтоб достичь уровня производства 1990 года по всем показателям сельского хозяйства, нам нужно еще лет 20, а может и не

достигнем этого никогда. Разрушены все связи, развалены все заводы тракторного и сельхозмашиностроения. В 1990 году все тракторные заводы России вместе выпускали 214 тыс. тракторов в год, а в 2016 году шесть тысяч штук, никакая атомная война не могла бы нанести такой урон народному хозяйству, как «эффективные менеджеры».

На рис. 1. показан объем производства продукции сельского хозяйства на душу населения в сравнении с медицинскими нормами на питания.



	Зерно, кг	Картофель, кг	Овощи, кг	Мясо, кг.	Молоко, кг.	Яйца, шт.
Медицинские нормы в год	1000	117	140	75	340	260
Произведено в 1990 г.	707	533	73,8	83,5	462,3	286,5
Произведено в 2016 г.	492,8	479,7	138,1	63,8	343,7	183,6

Рис.1. Производство продукции сельского хозяйства на душу населения Чувашской Республики в 2016 году

За 26 лет реформ сельского хозяйства неспециалистами сельского хозяйства, ни один показатель, кроме производства овощей, не достигнут объема производства 1990 года. И, я думаю, что не достигнем уровня 1990 года в ближайшие 20 лет. Сельское хозяйство - сложная отрасль, чтоб руководить и развивать сельское хозяйство нужно в селе родиться и вырасти, необходимо получить сельскохозяйственное образование, не менее десять лет поработать председателем успешного колхоза, не менее пяти лет развивать сельское хозяйство в регионе во главе сельхозотрасли, и потом уж поработать в министерстве сельского хозяйства России и стать министром. А когда случайного человека с улицы, без каких-либо профессиональных качеств по сельскому хозяйству, ставят во главе этой отрасли, то, кроме разрушения этой отрасли, ничего не происходит. Имея такие прекрасные черноземы, импортируем морковь из Израиля, картошку из Египта, яблоки из Польши и т.д. Почти на всю выручку от продажи нефти покупаем продукты, которые прекрасно растут на наших полях. Провальные реформы в экономике привели к развалу АПК страны.

Отечественные сельхозпроизводители должны увеличить производство мяса, молока, овощей, фруктов настолько, чтобы заместить огромные объемы импорта. И, дополнительно к этому, производить продовольствие на экспорт. Но чтобы выполнить эту задачу, надо увеличивать прирост производства в сельском хозяйстве на 10-15% в год не индексами цен производства продукции, а натуральными объемами.

По анализу всех трех программ развития сельского хозяйства ЧР видно, что по производству продовольствия на душу населения республики мы не достигли уровня производства 1990 года, это за 27 лет так называемых реформ. По России я думаю данные еще хуже, техническая оснащенность сельского хозяйства находится на очень низком уровне, по оснащенности сельскохозяйственной техникой на 1000 га посевных площадей мы находимся на уровне 50 годов. Урожай мы могли убирать, пока погода благопри-

ятствовала уборочным работам, если будут дожди, то большая часть урожая останется в поле.

Сельскохозяйственная техника и энергетическая мощность с каждым годом уменьшается, заводы уничтожаются. Если в моей республике не выполняются требование о продовольственной безопасности, то, я думаю, они не выполняются и по России. Даже древний Египет имел запасы продовольствия на 7 лет, на случай войны, засухи и неурожая, а насколько имеет Россия, я не знаю, но, судя по состоянию сегодняшнего сельского хозяйства, думаю, не на много. Если нам закроют импорт продовольствия, то нам придется свои «Тополя» и «Эрмитаж» на эшелоны продовольствия менять.

«Эффективные менеджеры» ничего не могли нового придумать, как на территории обанкротивших заводов и научно-исследовательских институтов магазины и жилье строить. Чтоб на этих заводах выпустить конкурентоспособную продукцию и завалить им весь мир, как китайцы, у них ума не хватает. Продовольственная безопасность может быть только при технической безопасности агропромышленного комплекса.

Государство обязано обеспечить физическую и экономическую доступность наших граждан к продовольствию в любом месте и в любое время.

По доктрине продовольственной безопасности главы районов, а первично главы сельских поселений должны отвечать за производство продукции сельского хозяйства для своего населения, на своей территории.

Основной целью Программы должно быть возрождение и развитие села поставив перед ней конкретные цели в разрезе каждого района и сельского поселения. Возрождение с/х надо начать с возрождении сельского поселения. Анализируя приведенные данные с требуемыми данными продовольственной безопасности ЧР, тоже рассчитанные в разрезе каждого района, приходишь к заключению, что к 2020 году проблему продовольственной безопасности мы не решим.

В1990 году она была почти решена, а за 27 лет развития мы удвоили бы производство продуктов питания и вместо импорта на 50 млрд. долларов ежегодно, произвели бы продукцию на экспорт, приведенные расчеты на таблицах 3 и 4 и расчеты, показанные на рис.1 и 2, подтверждают это.

Агропромышленный комплекс России умышленно и целенаправленно разрушается. Парк техники АПК изношен на 60-70%, производство сельскохозяйственной техники сократилось более чем в 10 раз, многие заводы уничтожены или уничтожаются. Аграрная наука находится в состоянии агонии, многие научно-исследовательские институты уничтожены. Фермеры нашу страну не накормят, это прошлое, а не будущее нашей страны.

На протяжении всей истории человечества снабжение населения продовольствием является главной государственной задачей.

Продовольственная безопасность – неотъемлемая часть национальной безопасности государства. Обеспечения населения страны продовольствием представляет собой важную социально-экономическую задачу, решение которой для государства имеет огромное значение.

Кроме сельского хозяйства, и рыбоводство находится в тяжелом состоянии, флот разгромлен. Лесное хозяйство разрушено, его богатства хищнически истребляются. Природоохранительные мероприятия практически свёрнуты.

Таблица 3

Необходимое количество производства сельхозпродукции для решения продовольственной безопасности населения в районах Чувашской Республики

Районы	**Посевная площадь всех 1990 г.**	**Всего сельское население на 01.01.2017 г.**(чел)	**Жителей городов ЧР** распределено по районам, пропорционально (2)	**Итого населения для производства с/х продуктов** (чел. 3+4)	Необходимое количество с/х продукции для питания по медицинским нормам (тыс. тонн)				
					Зерно (1000 кг.)	**Картофель** (117 кг.)	**Овощи** (140 кг.)	**Мясо** (75 кг.)	**Молоко** (340 кг.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЧР	**799848**	**469349**	**766514**	**1235863**	**1236**	**145**	**173**	**93**	**420**
Алатырский	**45420**	14875	41824	56699	56,7	6,6	7,9	4,3	19,3
Аликовский	**35710**	15882	33066	48948	48,9	5,7	6,9	3,7	16,6
Батыревский	**47768**	34496	43449	77945	77,9	9,1	10,9	5,8	26,5
Вурнарский	**48972**	32221	45116	77337	77,3	9,0	10,8	5,8	26,3
Ибресинский	**27603**	23519	25831	49350	49,3	5,8	6,9	3,7	16,8
Канашский	**55828**	35698	51200	86898	86,9	10,2	12,2	6,5	29,5
Козловский	**27509**	10215	34783	44998	44,9	5,3	6,3	3,4	15,3
Комсомольский	**33584**	25217	31276	56493	56,5	6,6	7,9	4,2	19,2
Красноармейский	**31076**	14279	28934	43213	43,2	5,1	6,0	3,2	14,7
Красночетайский	**27152**	14426	25406	39832	39,8	4,7	5,6	3,0	13,5
Марпосадский	**28652**	13656	35502	49158	49,1	5,8	6,9	3,7	16,7
Моргаушский	**48831**	33009	44889	77898	77,9	9,1	10,9	5,8	26,5
Порецкий	**42600**	12606	39292	51898	51,9	6,1	7,3	3,9	17,6
Урмарский	**39284**	22992	35358	58350	58,3	6,8	8,2	4,4	19,8
Цивильский	**50112**	21695	60404	82099	82,1	9,6	11,5	6,2	27,9
Чебоксарский	**45775**	62242	42241	104483	104	12,2	14,6	7,8	35,5
Шемуршинский	**23448**	12569	22081	34650	34,6	4,1	4,9	2,6	11,8
Шумерлинский	**20530**	9127	19472	28599	28,6	3,3	4,0	2,1	9,7
Ядринский	**43943**	17614	48976	66590	66,6	7,8	9,3	5,0	22,6
Яльчиковский	**46321**	17329	41547	58876	58,9	6,9	8,2	4,4	20,0
Янтиковский	**29730**	14818	26731	41549	41,6	4,9	5,8	3,1	14,1

Вывод:

1. Исходя из требований продовольственной независимости, на сегодня продовольственная безопасность Чувашии не обеспечена и не будет она обеспечена к 2020 году.

2. Главной задачей реализации национального проекта «Развитие АПК» состоит в составлении понятной всеми исполнителями государственной программы и регулярном контроле над его выполнением.

3. Ни один регион самостоятельно, без решения многих вопросов в государственном уровне, решить вопрос продовольственной безопасности не сможет.

4. Вопросы снабжения регионов тракторами, комбайнами и другими сельхозмашинами должны решаться на государственном уровне. Сейчас пока только идет разрушение заводов, чтобы на их территории магазины и жилье строить.

5. Чтобы создать и построить что-то новое, во главе министерства сельского хозяйства должен быть специалист-инженер сельского хозяйства, проработавший в этой отрасли не менее 20 лет. Он должен быть в ранге вице- премьера и ему должны быть подчинены министры тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, агролизинг, агробанки, аграрная

партия и все научно-исследовательские и другие институты сельского хозяйства.

6. Все вопросы закупки продовольствия в других странах должна решить министерство сельского хозяйства, а не министерство экономического развития. Никакого экономического развития в стране нет, кругом одни завалы, зачем вообще это министерство нужно.

7. В данное время состояние продовольственной безопасности России, и в том числе Чувашии катастрофическое. Без технического перевооружения сельского хозяйства и без замены ключевых министров в правительстве настоящими профессионалами, мы не решим вопрос продовольственной безопасности.

8. Если будет природная катаклизма или государства прекратят экспортировать продовольствие в нашу страну, то в Россию может прийти голод.

Таблица 4

Требуемое и фактически имеющееся количество сельскохозяйственной техники для решения продовольственной безопасности населения ЧР

Районы	Трактора (13/1000) (в шт.)				Зерноуборочные комбайны (4/1000) (в шт.)				Требуется (в шт.)		
	Требуется	Факт 1990 г.	Факт 2017г. пр. техосмотр		Требуется типа (Дон)	Факт 1990 г.	Факт 2017г. пр.техосмотр		Плуги (6,5)	Культиваторы (6,8)	Сеялки (11,5)
			АПК	Частные			АПК	Частные			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЧР	**9358**	**13495**	**1808**	**4425**	**1440**	**3120**	**468**	**143**	**3959**	**4898**	**4139**
Алатырский	531	654	22	100	82	162	8	2	225	278	235
Аликовский	418	582	58	286	64	155	8	21	177	219	185
Батыревский	559	760	164	421	86	194	32	5	236	292	247
Вурнарский	573	783	149	371	88	235	44	13	242	300	253
Ибресинский	323	455	92	247	50	121	14	3	137	169	143
Канашский	653	934	77	300	100	240	20	13	276	342	289
Козловский	322	459	47	198	50	86	18	6	136	168	143
Комсомольский	393	618	202	257	60	132	51	2	166	206	174
Красноармейский	364	565	85	171	56	117	23	11	154	190	161
Красночетайский	318	459	36	145	49	111	7	1	134	166	140
Марпосадский	335	518	15	181	52	106	4	9	142	175	149
Моргаушский	571	834	121	276	88	214	27	8	242	299	252
Порецкий	498	583	54	50	77	137	23	2	211	261	220
Урмарский	460	622	46	212	71	136	22	11	194	240	203
Цивильский	586	857	123	194	90	159	32	7	248	307	259
Чебоксарский	536	1053	113	136	82	172	24	4	227	280	237
Шемуршинский	274	362	64	215	42	93	13	4	116	144	122
Шумерлинский	240	435	16	139	37	86	6	1	102	126	106
Ядринский	514	789	66	184	79	181	16	2	218	269	227
Яльчиковский	542	660	194	150	83	168	60	8	229	283	239
Янтиковский	348	513	64	192	54	113	16	10	147	182	154

Библиографический список

1. Балабанов В.С., Борисенко Е.Н. Продовольственная безопасность (международные и внутренние аспекты). М. «Экономика». 2002.

2. Безопасность России. Разд. I «Продовольственная безопасность». М.: МТФ «Знание», 2000.

3. Монастырский О.А. Продовольственная безопасность России: вчера, сегодня,

завтра 20004г.,№4.-С.64

4. Драгайцев В.И., Егоров В.Г., Казанский Д.В., Буробин И.Н. Нормативы потребности АПК в технике для растениеводства и животноводства. Росинформагротех. МСХ РФ. 2003,83 с.

5. Табаков П.А. Влияние технической оснащенности сельского хозяйства на эффективность производства. Техника и оборудование для села 2012. N2. С. 34-35

6. Табаков П.А. Без восстановления технического потенциала села нет развития сельского хозяйства, Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт 2013 г. N6. С.10-19.

7. Табаков П.А. О техническом оснащении с/х Чувашской Республики, Техника и оборудование для села N8. 2013 г. С10-13.

8. Табаков П.А. Техническое переворужение с/х основа решения продовольственной безопасности населения. Сборник XII Студенческой международной научно-практической конференции, Москва 2014 г. 21 мая. С. 86-96.

9. Табаков П.А., Табаков А.П. Аграриям нужна долгосрочная стратегия развития XL Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки, N3,Март 2016, г. Новосибирск. С. 183-191

10. Статистический ежегодник ЧР 1990-2016гг., изд. Чувашстат, г. Чебоксары

11. Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Горячев С.А. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК // М.: ГОСНИТИ, Москва, 2012. 399 С.

References

1. Balabanov V.S., Borisenko E.N. Food security (international and internal aspects) // M. «Economics». 2002.

2. Security of Russia. Div. I «Food security». M .: MTФ «Knowledge», 2000.

3. Monastyrsky O.A. Food security of Russia: yesterday, today, tomorrow, 20004, N4. P. 64

4. Requirements for the needs of the agroindustrial complex in the technology for crop production and livestock. V.I.Dragaytsev, V.G.Egorov, D.V.Kazansky, I.N.Burobin FGBNU «Rosinformagrotekh» -MSK RF, 2003, 83 with.

5. Tabakov P.A. The impact of the technical equipment of agriculture on production efficiency. Machinery and equipment for the village 2012, No. 2, -C.34-35

6. Tabakov PA. Without the restoration of the technical potential of the village there is no development of agriculture, Agricultural machinery: maintenance and repair of 2013, No. 6, C.10-19.

7. Tabakov P.A. On the technical equipment of agriculture of the Chuvash Republic, Machinery and equipment for the village No. 8.2013g. C10-13.

8. Tabakov P.A. Technical transformation of agriculture is the basis for solving the food security of the population. Compilation of the XII Student International Scientific and Practical Conference, Moscow 2014 May 21, -C.86-96

9. Tabakov P.A., Tabakov A.P. Agrarians need a long-term strategy for the development of the KhL Student International Scientific and Practical Conference «Scientific community of students of the XXI century. Engineering Sciences, №3, March 2016, Novosibirsk, C. 183-191

10. Statistical Yearbook of the Chuvash Republic in the period 1990-2016. Ed. Chuvashstat, Cheboksary

УДК 631.3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЭКСПЛУАТАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ, ВЫВОДИМОЙ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Валерий Сергеевич Герасимов, заведующий лабораторией;
Владимир Ильич Игнатов, кандидат технических наук;
Сергей Анатольевич Буряков, старший научный сотрудник;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: rosagroserv@list.ru

Реферат. *В работе наряду с критериями эффективности применения сельскохозяйственной техники и параметрами технического состояния машин, подробно рассматриваются процессы достижения «элементами» машин предельного состояния. Теоретическое определение предельного состояния техники и ее элементов дает возможность получить достоверную информацию о целесообразности либо продолжении эксплуатации техники или ее утилизации. Следует отметить, что подержанная техника имеет невысокий уровень восстановления годности, полномасштабный капитальный ремонт с учетом финансовых издержек не всегда бывает целесообразным, так как в результате такого «ремонта» процессы старения в деталях, уже частично потерявших годность, приведут к быстрой потере запаса годности и к снижению эффективности использования этой техники. Поэтому доминирующей задачей в этой ситуации является разработка ресурсосберегающей экологоориентированной отраслевой системы утилизации сельскохозяйственной техники. Важным моментом, определяющим целесообразность создания этой Системы является мотивация всех ее участников, и в первую очередь – владельца машины для передачи своей собственности на утилизационное предприятие при достижении этой машиной предельного состояния. Для принятия мотивированного решения об альтернативном варианте дальнейшего использования машины (ремонтировать или утилизировать) всем участникам Системы необходима информация технического и экономического плана: о предельном состоянии машины, цене ремонта, остаточной стоимости и других важных факторов, определяющих техническое состояние машины. Данная тема полностью соответствует стратегии государства в сфере развития сельскохозяйственной отрасли (Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.01.2016 г.) и другие директивные документы.*

Ключевые слова: *детали, машины, ресурс, предельное состояние, элементы машин, критерии, изнашивание, списание, утилизация, ремонт.*

THEORETICAL MODEL DEFINE THE BOUNDARIES OF OPERATION AND UTILIZATION OF AGRICULTURAL MACHINERY BEING DISMANTLED

Abstract. *In work along with efficiency criteria of application of agricultural machinery and parameters of a technical condition of cars, processes of achievement «elements» of cars of a limit state are in detail considered. Theoretical determination of the limiting condition of the equipment and its elements makes it possible to obtain reliable information about the feasibility of either continuing the operation of the equipment or its disposal. This topic is fully consistent with the state strategy in the field of development of the agricultural sector (Federal law of the Russian Federation of June 24, 1998 № 89-FL «On production and consumption wastes» with amendments and additions, which entered into force on 01.01.2016) and other policy documents.*

Keywords: *parts, machines, resource, limit state, elements of machines, criteria, wear, write-off, disposal, repair.*

Использование сельскохозяйственной техники (СХТ) за пределами оптимальных сроков их службы в значительной мере связано не только с низкой платёжеспособностью сельскохозяйственных предприятий использующих самоходную технику. В отличие от технически развитых стран в России до настоящего времени не сложилась традиция своевременного выведения из эксплуатации устаревшей техники и ее цивилизованной утилизации.

В настоящее время при создании машины ее разработчики и производители, руководствуясь стандартами, обеспечивают определённый уровень надёжности, который может служить базой для определения предельного состояния. В соответствии с ГОСТ 27.003-90 этот оптимальный уровень надёжности определяется исходя из зависимости эффективности и стоимости изделия от уровня его надежности [1].

При рассмотрении системы жизнеобеспечения машин, используемой в СССР, все участники и этапы жизненного цикла машины (от маркетинга до утилизации) контролировались и управлялись организационно и экономически государством [2]. Машиностроительные заводы выполняли только функцию производства машин.

Работы на этапах жизненного цикла машины: маркетинг, проектирование, технологическая подготовка производства, снабжение и сбыт, техническое обслуживание и ремонт осуществлялись на целом ряде специализированных предприятий и организаций, проводящих эти виды деятельности.

Была создана мощная система инженерно-технического обеспечения процесса использования техники. Одним из основных принципов российской системы планово-предупредительного ремонта (ППР) являлось обязательное проведение обезличенного капитального ремонта. Предельным состоянием считалось нормированная наработка. «Методика разработки нормативов сроков службы тракторов и зерноуборочных комбайнов в сельском хозяйстве», созданная в начале 90-х годов прошлого столетия с целью определения критерия наступления предельного состояния, не дала ожидаемых результатов по многим причинам и используется в основном в бухгалтерских целях [3]. Поскольку уровень управляемости предельным состоянием машин при системе их жизнеобеспечения был невысок, то все предприятия, выполняющие работы на определённых этапах жизненного цикла, лишь номинально были связаны с производителями техники. И определение предельного состояния машин не являлось для последних приоритетной задачей.

Анализ проведенных работ в области определения предельного состояния различных объектов показывает, что при обосновании границы наступления этого состояния предлагалось использовать различные критерии, которые зачастую отличаются по величине даже для одинаковых изделий различных производителей. Эти критерии можно классифицировать по [4]:

- виду изделия: деталь, сопряжение, агрегат, машина в целом;
- параметрам: технические, экономические;
- области применения: проектирование; испытания; хранение, эксплуатация, ремонт, утилизация;
- степени общности критериев: общие, локальные;
- ряд других признаков.

Чаще всего используют связь технических и экономических критериев, формируя группу технико-экономических критериев.

При использовании экономических критериев достижения машиной границы предельного состояния определяется экономическими показателями, например, удельной себестоимостью производимой продукции, расходами на техническое обслуживание и ремонт машины, потребляемые ресурсы, в том числе топливо, смазочные материалы и пр. Одним из основных критериев эффективности применения сельскохозяйственной техники является прибыль от её использования [5].

Основные критерии эффективности применения сельскохозяйственной техники

Реализация в качестве экономического критерия итоговой прибыли от эксплуатации техники в виде функции времени определяется выражением [6].

$$П(t) = Д(t) – Z(t) – У(t) \rightarrow_{Пmax} \quad (1)$$

где: Д(t), Z(t) – соответственно доходы и затраты от производственной деятельности за расчетный период; У(t) – величина ущерба, вызванная простоем техники; t – время эксплуатации техники.

Доход будет зависеть от производительности машины Q_i (t), цены единицы продукции C_i и наработки конкретной машины T_i(t)

$$Д(t)=\sum Q_i (t) \times C_i \times T_i(t) \times К_{iм}, \quad (2)$$

где $К_{iм}$ – коэффициент использования потенциала машины.

Большинство проявлений ущерба обычно можно оценить экономически, причем величина ущерба пропорциональна времени простоя Тпр оборудования и потерям в единицу времени y_i:

$$У(t) =\sum y_i (t) \times T_{пр}(t) \quad (3)$$

где y_i – величина ущерба в единицу времени.

Затраты Z(t) имеют весьма сложную структуру. Сюда входят амортизационные отчисления, зарплата механизаторов, затраты на содержание производственно-эксплуатационной базы, отчисления в вышестоящую организацию, учредителям и т.п., налоги, прочие отчисления (на страховки, банковские проценты по кредитам, лизинговые платежи, разрешения, техосмотры) и пр. затраты. Для их определения необходима надёжная система сбора, хранения и обработки достаточно большого количества информации по каждой машине.

Ущерб связан с сопутствующими потерями, сопровождающие простои

машин из-за отказов. Если остановка машины возникает по причине плановых технических воздействий, то ущерб, как правило, не подсчитывается, т.к. это время зарезервировано системой эксплуатации техники и включено в график работы техники.

Внезапные же отказы сопровождаются непредвиденными простоями не только самой отказавшей машины, но и ресурсов, технологически связанных с данной машиной. Последствием отказов может быть также снижение качества продукции, ущерб в социальной, экологической и др. сферах. Большинство проявлений ущерба обычно можно оценить экономически, причем величина ущерба пропорциональна времени простоя Тпр оборудования и потерям в единицу времени y_i:

$$У(t) = \sum y_i (t) \times T_{пр}(t) \quad (4)$$

где y_i – величина ущерба в единицу времени.

При использовании экономических критериев, основанных на оптимизации затрат и ущерба от простоев машины, за предельное состояние принимают наработку H_{1min}, при которой величина (Z+У) принимает минимальное значение. При критериях, основанных на максимально возможной прибыли, моментом наступления предельного состояния машины $H_{2опт}$ считается начало снижения прибыли от использования машины.

Но основным практическим выводом из этих двух подходов (производителями машин и её потребителями) является то, что предельное состояние машины наступает уже тогда, когда машина работоспособна и может выполнять свои функции, но с низким уровнем эффективности. С технической точки зрения это говорит о том, что многие детали и агрегаты машины, достигшей предельного состояния, имеют достаточно высокий уровень работоспособности, и такая машина представляет собой экономически привлекательный объект для утилизационного предприятия.

Параметры технического состояния машин

В общем случае для получения данных о конкретных величинах параметров машины для определения значений экономических критериев требуется постоянный контроль за движением ресурсов, потребляемых каждой конкретной машиной, большая статистическая база по временным параметрам её использования, что достаточно трудно осуществлять на практике, особенно в малых предприятиях. И в конечном итоге для принятия окончательного решения относительно дальнейшего использования конкретной машины необходима информация о значениях технических критериев, рассмотренных выше, поскольку техническая сторона использования машин первична, а остальные параметры (в том числе экономические) являются её производными.

Содержание научных основ технической эксплуатации машин и их элементов в основном направлено на изучение причин изменения их состояния, оценки фактического технического состояния, динамики его изменения и прогнозирования с целью выработки оптимальных методов и способов управления техническим состоянием машин [7]. Как показывает теория и практика использования техники, значения параметров технического состояния машин определяются не только надежностью их элементов, но и особенностями объединения этих элементов в различные подсистемы и методами управления этими подсистемами [8]. Исходя из этого сложилась

определенная иерархия подсистем (рис. 1), которые являются объектами исследования.

Началом отсчета в иерархии подсистем, связанных с определением предельного состояния СХТ, принято считать детали. Вопросам раскрытия физики отказов, механизма изнашивания и изучению закономерностей, которые определяют его протекание, посвящено большое количество работ.

Следующей ступенью иерархии является агрегат, например, двигатель машины. Машина является подсистемой III-го уровня и состоит из агрегатов. Четвертой ступенью в иерархии подсистем является парк машин одного назначения. Выводимую из парка машину заменяют новой или отремонтированной. Кроме того, парк может пополниться или модернизироваться не в связи с заменой машин, достигшей предельного состояния, а с целью изменения производственных возможностей для выполнения изменившегося объема работ. Поэтому машина, даже не достигшая предельного состояния может попасть на вторичный рынок без проведения технических воздействий или после поведения ремонта различной глубины [9].

Рис. 1. Схема иерархии подсистем различных уровней

Если рассматривать конкретную деталь машины, то параметры протекания во времени процессов её старения и момент достижения предельного состояния можно определить с достаточной степенью точности. Требуется лишь наличие статистической информации, связывающей величину износа детали U с ее наработкой (выработанным ресурсом T) и информации о предельном износе $U_{пр}$. Другое дело, когда требуется определить те же параметры конкретной детали, которая представлена достаточно большой выборкой, т.е. используется в большом количестве аналогичных машин.

Если рассматривать партию аналогичных деталей, то величина накопленных повреждений (например, износа U) у каждой детали в момент контроля $t=T_к$ (рис. 2) будет различная и параметр состояния объекта $U_к$ будет иметь различную величину в пределах $U_{к\ мин}<U_к<U_{к\ мак}$.

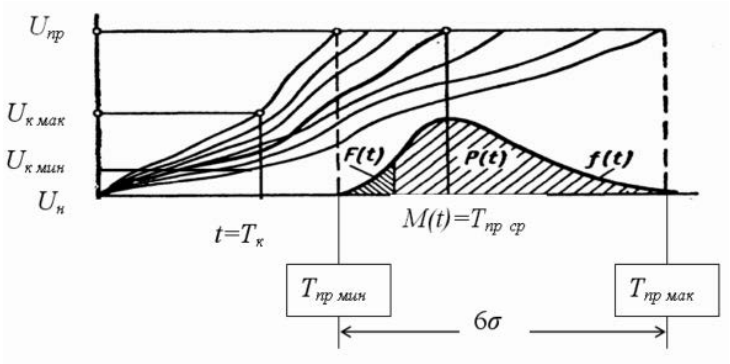


Рис. 2. Схема формирования закона распределения времени безотказной работы детали

Соответственно, момент достижения предельного состояния $T_{пр}$, т.е. момент наступления отказа для каждой конкретной детали будет иметь вполне определённое значение и находиться в интервале $T_{пр\ мин} < T_{пр} < T_{пр\ мак}$.

Этот интервал для некоторых законов распределения случайной величины соответствует шести среднеквадратичным отклонениям σ.

По мере наработки потеря части годности приведёт к снижению суммарного запаса годности объекта (рис. 3). При этом различные типы машин будут иметь свою «индивидуальную скорость» потери запаса годности, которая определяется временным параметром, т.е. наработкой на отказ. Экономический смысл этой «скорости» можно представить, как скорость «списания» части ресурса (или стоимости) за наработку T_i.

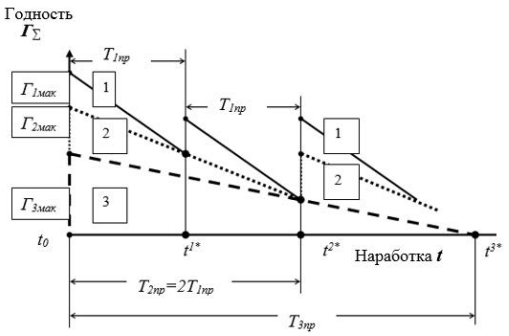


Рис. 3. Схема процесса достижения элементами предельного состояния

Для упрощения анализа будем считать, что годность деталей расходуется в по мере достижения предельного состояния равномерно и при достижении этого состояния в момент $t^*=T_{iпр}$ становится равной нулю, т.е. $Г_i^{t*}=0$. При этом будем считать остаточную стоимость отказавшей детали также равной нулю.

В общем случае любой агрегат (машина) можно представить в виде совокупности элементов трёх категорий: 1 – быстроизнашиваемых деталей; 2 – деталей (агрегатов), имеющих различные наработки на отказ; 3 – базовой детали (агрегата), которая определяет срок службы этого агрегата (машины). Схема потери годности деталями различных категорий показана на рис. 3. Номер детали на рисунке соответствует указанной выше категории.

Базовая деталь 3, имея в момент времени t_0 максимальный запас годности $Г_{3мак}$, расходует его и отказывает в момент t^{3*}. Соответственно детали 2 и 1 отказывают, израсходовав запасы годности соответственно $Г_{2мак}$ и $Г_{1мак}$, в моменты t^{2*} и t^{1*} и в эти моменты должны быть заменены на новые.

Неравнопрочность деталей, входящих в состав любого объекта, является одной из особенностей проектирования современных машин. В идеальном случае желательно, чтобы детали различных категорий имели одинаковые временные значения достижения предельного состояния. Поскольку это условия выполнить практически невозможно, то конструкторы стараются добиться кратности сроков службы элементов (детали категорий 1 и 2 на рис. 3). Однако обеспечить даже это условие достаточно сложно. Чаще всего кратность периода достижения предельного состояния различными элементами не соблюдается.

Обеспечивать высокий уровень надёжности для деталей, подверженных износу, не всегда целесообразно по различным (техническим, технологическим или экономическим) причинам. Поэтому производители сознательно идут на проектирование элементов агрегатов с малым временным ресурсом: конструктивно простых, а поэтому недорогих. Замена этих элементов на новые входит в регламент ремонтных работ. Чаще всего производители техники разрабатывают относительно простые и недорогие технологии замены таких недолговечных деталей.

При этом задача обеспечения кратности достижения предельного состояния различных элементов чаще всего отодвигается на второй план. Это приводит к тому, что в процессе проведения технических воздействий ремонтники должны решить альтернативную задачу [2]:

1) заменить только деталь 1, но через промежуток времени ΔT_{12} повторно провести ремонтные работы (рис. 4);

2) при замене детали 1 превентивно заменить деталь 2 (и «потерять» при этом часть ее годности $\Delta Г_{12}$) совместно с деталью 1.

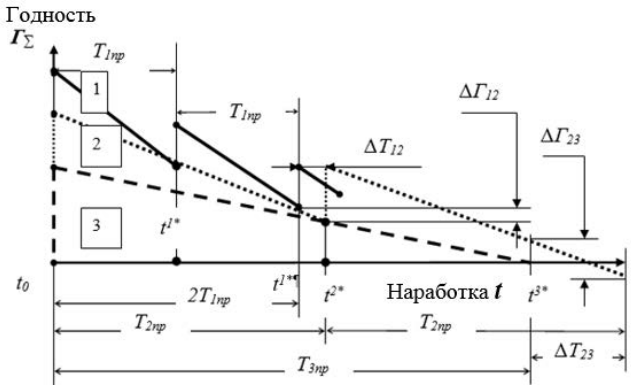


Рис. 4. Схема влияния равнопрочности деталей на состояние агрегата в конкретный момент времени

В зависимости от этого решения и варианта его реализации, техническое состояние всего объекта в моменты времени t^{1*} и t^{2*} может быть различным и характеризоваться наличием различного количества деталей с достаточно высоким уровнем годности. В первом варианте предсказуемо годной будет только деталь 2, во втором – две детали (детали 1 и 2).

В общем случае в силу вероятностного характера величины наработки годности различных деталей (и, соответственно, годность всего объекта) в аналогичных машинах будут различными (рис. 2). Поэтому учесть вероятностный характер достижения предельного состояния каждой из деталей, а тем более реальной сельскохозяйственной машины в целом практически невозможно.

Когда рассматривается сложная машина в целом, имеющая определённую остаточную стоимость, но требующая технического обслуживания и ремонта, то задача определения момента достижения предельного состояния становится ещё сложнее.

Большинство составных частей механических систем, к которым принадлежат машины АПК, относятся в к элементам стареющего типа, т.е. таким, у которых интенсивность отказов является монотонно возрастающей функцией наработки.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}, \qquad (5)$$

где f(t) – плотность распределения времени безотказной работы стареющего объекта;

F(t) – функция распределения времени работы до отказа.

В конечном итоге любая машина достигает предельного состояния и требуют проведения капитального ремонта, а если его проведение экономически нецелесообразно – то утилизации.

Теоретическое определение предельного состояния техники и её элементов является одним из направлений, в котором работали и работают учёные во всех странах мира и которому посвящено огромное количество работ. Для определения предельного состояния используются статистические, аналитические, графические и графоаналитические методы, основанные на инженерном анализе, определяющие надежность машин и возможности управления ею в процессе эксплуатации, а также на основе решения целого ряда технико-экономических задач. Предельное состояние изделия – состояние изделия, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [10].

Выводы. В общем случае определение предельного состояния элементов и машины в целом и установление критериев, определяющих границу целесообразности проведения того или иного технического воздействия, является сложной технико-экономической проблемой.

Только имея информацию о фактическом состоянии машины, её владелец или исполнитель ремонтных работ может принять обоснованное решение о целесообразности проведения ремонта или утилизации рассматриваемого технического объекта. Это относится как к машине в целом, так и к ее элементам.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

2. Игнатов В.И., Макуев В.А., Сиротов А.В. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин и оборудования лесного комплекса: учебник (гриф УМО). М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 489 с.

3. Методика разработки нормативов сроков службы тракторов и зерноуборочных комбайнов в сельском хозяйстве. М.: НИИПиН. 1982. 54 с.

4. Соломашкин А.А. Стратегии технического обслуживания и ремонта машин // Труды ГОСНИТИ. Т. 128. С. 145-151.

5. Соловьев С.А., Федоренко В.Ф., Игнатов В.И., Герасимов В.С., Макуев В.А., Голубев И.Г. Утилизация сельскохозяйственной техники проблемы и решения: науч. изд. //Росинформагротех. 2015. 172 с.

6. Репин С.В. Как усовершенствовать систему управления технической эксплуатацией машин на основе научного анализа и информационных технологий.

7. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Бледных В.В. и др. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве (учебное пособие). Москва-Челябинск. ГОСНИТИ. ЧГАУ. 2003. 992 с.

8. Еремеев Н.С. Повышение эффективности технической эксплуатации лесозаготовительных машин на основе управления их остаточным ресурсом. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М. 2005.

9. Черноиванов В.И., Герасимов В.С., Есаков Д.И. и др. Создание вторичного рынка сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2011. 80 с.

10. ГОСТ 30479-97 Обеспечение износостойкости изделий. Методы установления предельного износа, обеспечивающего требуемый уровень безопасности. Общие требования.

11. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Солодкина Л.А., Соловьев С.А., Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве // Монография: ГОСНИТИ. Москва. 2013. 298 с.

References

1. GOST 27.003-90. Reliability in the technique. The composition and the General rules of the job requirements in terms of reliability.

2. Ignatov V. I., Makeev V. A., Sirota A. V. maintenance and repair technology machines and equipment of forestry complex: textbook (neck UMO). – M.: GOU VPO at MSFU, 2006. 489 p.

3. Methods of development of standards of service life of tractors and combine harvesters in agriculture. M.: NIIPiN. 1982. 54.

4. Solomashkin A. A. the Strategy of technical maintenance and repair of machines // Proceedings of GOSNITI.- volume 128. 145-151.

5. Solovyov, S. A. Utilization of agricultural machinery, problems and solutions // S. A. Solovyov, V. F. Fedorenko, V. I. Ignatov, V. S. Gerasimov, V. A. Makuev, I. G. Golubev. : FSBSI «Rosinformagrotekh». 2015. 172.

6. Repin S. V. How to improve the control system of technical operation of machines on the basis of scientific analysis and information technology.

7. Chernoivanov V. I. Maintenance and repair of machines in agriculture (tutorial) // V. I. Chernoivanov, A. E. Severniy, V. V. Blednih et al. / Moscow-Chelyabinsk.- GOSNITI, CGAU. 2003. 992.

8. Eremeev N.S. Increase of efficiency of technical operation of logging machines on the basis of management of their residual resource. Thesis for the degree of doctor of technical Sciences. M. 2005.

9. Chernoivanov V.I. The establishment of a secondary market of agricultural machinery // V.I. Chernoivanov, V.S. Gerasimov, D.I. Esakov et al. / M.: FSBSI «Rosinformagrotekh». 2011. 80.

10. GOST 30479-97. Ensuring wear resistance of products. Methods for establishing the limit of wear, providing the required level of safety. General requirements.

11. Chernoivanov V.I., Lyalyakin V. P., Solodkina L.A., Solovyov S.A., Forming of the investment mechanism in the field of technical service in agriculture//the Monograph: STATE THREADS. Moscow, 2013. 298.

УДК: 631.3; 631.17;001.4

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Аркадий Максимович Криков, доктор технических наук, профессор;
Владимир Владимирович Коротких, кандидат технических наук;
Владимир Моисеевич Лившиц, доктор технических наук, профессор;
Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий, Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: krikov2010@mail.ru;
Бердникова Рита Григорьевна, кандидат технических наук,
Томский филиал Новосибирского государственного аграрного университета, Томск, Российская Федерация, e-mail: tshi@ngs.ru;
Зоя Николаевна Мишина, старший научный сотрудник,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Описывается обобщённая структура системы информационной поддержки выполнения операций технического обслуживания и технического диагностирования парка тракторов и автомобилей в хозяйстве применением компьютера, представленная в виде совокупности взаимосвязанных общих, модельных и управляющего блоков. К общим видам отнесены блоки «Оборудование и оснастка», «Инструменты и приборы», «Топливо-смазочные и расходные материалы» и «Предприятия ресурсного обеспечения». В качестве модельных рассматриваются блоки соответственно для тракторов и грузовых автомобилей в отдельности. Блоками для тракторов представлены «Пункты технического обслуживания тракторов», «Конструкции обслуживаемых моделей тракторов», «Операции технического обслуживания и технического диагностирования обслуживаемых моделей тракторов», «Прогнозирование остаточного ресурса параметров узлов и агрегатов тракторов», «Хронология состояний обслуживаемых тракторов» и «Нормы расхода и затрат ресурсов на техническое обслуживание и техническое диагностирование обслуживаемых моделей тракторов». Блоками для грузовых автомобилей представлены «Пункты технического обслуживания грузовых автомобилей», «Конструкции обслуживаемых грузовых автомобилей учитываемых моделей», «Операции технического обслуживания в совокупности с техническим диагностированием грузовых автомобилей учитываемых моделей», «Прогнозирование остаточного ресурса параметров узлов и агрегатов обслуживаемых моделей грузовых автомобилей» «Хронология состояний обслуживаемых грузовых автомобилей», «Нормы расхода и затрат ресурсов для обслуживаемых грузовых автомобилей». Управляющим представлен блок «»Выбор обслуживаемой группы машин». Для оперативного выбора используемого блока из представленного набора формируется блок-меню. Приводится описание*

основных функций блоков и общие приемы их формирования. Дополнительные и более подробные сведения по их формированию можно почерпнуть из источников, указанных в библиографическом списке.

Ключевые слова: *обобщённая структура, система информационной поддержки, компьютер, операции обслуживания, техническое обслуживание, техническое диагностирование, парк машин, трактор, автомобиль, информационные блоки, общий, модельный, управляющий.*

GENERALIZED STRUCTURE OF INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR TRACTOR AND CAR MAINTENANCE OPERATIONS

Krikov A.M.[1], Doctor of Science in Engineering,
Berdnikova R.G.[2], Candidate of Science in Engineering,
Korotkikh V.V.[1], Candidate of Science in Engineering,
Livshits V.M.[1], Doctor of Science in Engineering
[1]Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
[2]Tomsk Branch of the Novosibirsk State Agrarian University, Tomsk, Russia
Mishina Z.N. senior researcher
Federal Research Center of Agricultural engineering VIM, Russian Federation, Moscow

Abstract. *There is described a generalized structure of information support system to implement computer-aided operations of tractor and car maintenance and diagnostics at a farm, which is represented by a complex of general, model and control blocks linked to each other. General blocks are "Equipment and Tooling", "Tools and Instruments", "Fuels, Lubricants and Consumables", and "Supplier Companies". Blocks for tractors and trucks taken separately are referred to as model blocks. Model blocks for tractors are represented by "Tractor Maintenance Stations", "Designs of Tractor Models to be serviced", "Maintenance and Diagnostics Operations for Tractor Models to be serviced", "Forecasting of Remaining Life of Tractor Assemblies and Units", "Chronology of Conditions for Tractors to be serviced", and "Resource Consumption Rates and Costs for Maintenance and Diagnostics of Tractor Models to be serviced". Model blocks for trucks are represented by "Truck Maintenance Stations", "Designs of Truck Models to be serviced", "Maintenance and Diagnostics Operations for Truck Models to be serviced", "Forecasting of Remaining Life of Truck Assemblies and Units", "Chronology of Conditions for Trucks to be serviced", and "Resource Consumption Rates and Costs for Maintenance and Diagnostics of Truck Models to be serviced". The block "Choosing a Machine Group to be serviced" is presented as general one. A menu block is formed to choose timely a block from a set presented. Key functions of blocks and general methods for their formation are described. More detailed data on block formation can be taken from references listed below.*

Keywords: *generalized structure, information support system, computer, maintenance and diagnostics operations, machine fleet, tractor, car, information blocks, general, model, control.*

Введение. Одной из путей повышения качества технического сервиса машин и совершенствования технического обслуживания машин и диагностирования является использование информационной поддержки выполнения операций их обслуживания, преодолевая тем самым сложности решения многих организационно-технологических задач [1-5]. В реализации этого пути были разработаны система информационного обеспечения технического обслуживания и технического диагностирования тракторов, апробированная применительно к тракторам типа К-701 и К-744, и грузовым автомобилям с реализацией на примере четырёх моделей завода КамАЗ [6-9].

Цель исследований. Одним из этапов развития исследований в данном направлении является создание обобщенной структуры специализированной информационной системы (СИС), в которой одновременно рассматривались бы множество моделей тракторов и автомобилей в парке машин хозяйства.

Материалы и методы. Для условного обозначения разработанных информационного обеспечения используются аббревиатуры СИПТОТ и СИПТОГА соответственно. Наличие обобщенной структуры позволит подойти к решению задачи информационной поддержки выполнения операций обслуживания парка машин с учетом уже отработанных приемов в СИПТОТ и СИПТОГА.

Методика разработки обобщенной структуры сводится к анализу тех основных блоков СИПТОТ и СИПТОГА, которые в явном виде отражают информационные компоненты применительно к видам и марочному составу обслуживаемой техники. Ориентир на СИПТОТ и СИПТОГА объясняется тем, что они имеют вполне завершённый вид и пригодны для практического применения, а обобщённая структура рассматриваемой СИС будет построена более систематично.

В разрабатываемой структуре блоки СИС разделим на группы. К первой отнесем те, информационное содержание которых непосредственно определяются моделью машин. К таким относятся, например, блоки, отражающие конструкцию обслуживаемой машины. Назовем такие блоки модельными. Ко второй группе отнесем блоки, информационные компоненты которых лишь в незначительной мере зависят от модели обслуживаемой машины. Например, к таким относятся блоки, содержащие сведения об используемых расходных материалах, о применяемом оборудовании и др. Такие блоки назовем общими.

Обобщённую структуру СИС представим совокупностью модельных и общих блоков. Вследствие того, что число моделей (марок) обслуживаемых машин может быть достаточно большое, в рассматриваемой СИС потенциально может содержаться довольно много информационных блоков модельной группы. Это приведет к усложнению выполнения процессов, связанных с корректировкой или модернизацией тех или иных из них в процессе эксплуатации СИС на базе обобщенной структуры. Для избежания такой ситуации информационные компоненты модельной группы целесообразно сгруппировать в определенные подблоки. Исходя из изложенного в качестве дополнительного блока в информационную систему введён блок с условным наименованием «Выбор обслуживаемой группы машин», предусматривая в нем возможность идентификации конкретного вида обслуживаемой машины в рассматриваемом случае выполнения операций ТО и ТД и переключения к группам информационных компонентов, содержащих необходимые сведения применительно к тракторам или автомобилям.

Результаты и обсуждение. Исходя из изложенного обобщённая струк-

тура представляется совокупностью видовых, модельных и общих блоков. Ниже представлено описание их основных параметров.

1. Информационные блоки для тракторов.

1.1. Пункты технического обслуживания (ПТО) тракторов. Блок содержит сведения, характеризующие имеющиеся типичные проекты пунктов технического обслуживания, включая их общую характеристику, а также состав и расстановку оборудования, и другие информационные компоненты. В блок могут быть включены сведения и об оригинальных и эффективных проектах пунктов технического обслуживания.

1.2. Конструкции обслуживаемых моделей тракторов МОТ; МОТ = 1, 2, …, N; где N – число рассматриваемых в СИС моделей тракторов. Блок «Обслуживаемые тракторы» состоит из контентов, которые содержат сведения об устройствах (конструкциях) обслуживаемых тракторов. Данные сведения группируются по каждой марке в виде самостоятельного блока и число таких блоков равно N. Первая часть таких блоков является связующим для основных узлов трактора. Они представлены в виде их списка, включая двигатель, трансмиссия и др. Здесь же имеется возможность просмотра общих сведений о блоке путем перехода к такому компоненту с помощью гиперссылки.

1.3. Операции технического обслуживания в совокупности с техническим диагностированием тракторов моделей МОТ. Как и выше, такие сведения группируются по каждой марке в виде самостоятельных блоков и число их равно N. Информационный блок состоит из информационных компонентов, подробно характеризующих полный набор операций, предусмотренных по ТД и ТО имеющихся в хозяйстве тракторов, включая требования к выполнению операций и порядок их выполнения, используемые при обслуживании оборудование, приборы и инструменты.

1.4. Прогнозирование остаточного ресурса параметров узлов и агрегатов обслуживаемых тракторов моделей МОТ. Блок представляется в виде программно-алгоритмических и информационных средств, позволяющих заменить традиционно рекомендуемую процедуру использования номограмм компьютерными средствами.

1.5. Хронология состояний обслуживаемых тракторов. Блоком учитываются состояния обслуживаемых тракторов, зафиксированные по каждому из них в отдельности в моменты их поступления на техническое обслуживание. Это – своеобразная история «обслуживания» трактора. Такая информация может быть использована при анализе причин возникновения неисправностей тракторов определенного подразделения хозяйства, а также в целях уточнения содержания работ по техническому обслуживанию узлов, у которых чаще возникают неисправности.

1.6. Нормы расхода и затрат ресурсов для обслуживаемых тракторов. Блок содержит нормативные сведения по нормам расхода материалов и ресурсов, в т.ч. и трудовых, которые могут потребоваться при организации и планировании работ по техническому диагностированию и техническому обслуживанию тракторов.

2. Информационные блоки для грузовых автомобилей

2.1. Пункты технического обслуживания грузовых автомобилей. Блок содержит в себе информационный материал по общим сведениям о ПТО со схемами проектов различных вариантов и экспликацией помещений, а так же сведения о постах и участках, их характеристиками, предназначением и

оснащением с перечнем оборудования.

2.2. Конструкции обслуживаемых грузовых автомобилей моделей МОГА; МОГА = 1, 2, …, K; где K – число рассматриваемых в СИС моделей грузовых автомобилей. Блок включает в себя информационный материал об устройстве (конструкции) обслуживаемых автомобилей.

2.3. Операции технического обслуживания в совокупности с техническим диагностированием грузовых автомобилей моделей МОГА. Наряду с технологическими картами технического обслуживания в руководствах по технической эксплуатации приводятся технологические карты их диагностирования с указанием необходимого оборудования и оснастки, которые также отражены в данном блоке.

2.4. Прогнозирование остаточного ресурса параметров узлов и агрегатов обслуживаемых грузовых автомобилей моделей МОГА. Для автоматизированного выполнения процедур оценки остаточных ресурсов узлов и агрегатов грузовых автомобилей в среде электронной таблицы EXCEL-2010 и последующих версий используется комплекс программно-алгоритмических и информационных средств. Применение комплекса ускоряет процесс расчетов и повышает точность прогнозирования параметров технического состояния узлов и агрегатов машины, содействуя тем самым к продлению сроков их использования. Процедура оценки остаточного ресурса сведена к вводу или выбору из имеющейся таблицы соответствующих исходных данных и запуску специальной функции, взамен трудоёмких расчетов. Их результаты оформляются в виде отдельной таблицы с рекомендациями о действиях по результатам прогнозирования.

2.5. Хронология состояний обслуживаемых грузовых автомобилей. Данный блок аналогичен блоку 1.5.

2.6. Нормы расхода и затрат ресурсов для обслуживаемых грузовых автомобилей. Блок аналогичен блоку 1.6.

3. Блоки общего вида.

3.1. Оборудование и оснастка. Данный информационный блок обеспечивает пользователя сведениями об оборудовании и оснастке, используемой в процессе технического обслуживания обслуживаемых тракторов и грузовых автомобилей. Блок формируется из описаний существующих конструкций в виде установок, устройств, приспособлений, на которые даются ссылки в технологических картах и инструкциях, применяемых при проведении операций технического обслуживания всех рассматриваемых в СИС марок машин.

В виду многообразия рассматриваемых объектов с целью повышения удобства получения информации при формировании блока применимы приемы обобщения и группирования. Исходя из этого, в начале блока располагается список групп объектов, по которым представлена информация. Затем по каждой группе объектов (компонентов) приводится список (регистр) их марок, типоразмеров или моделей, и от каждого из них следует гиперссылка на информационную компоненту с описанием соответствующего объекта. Каждое приспособление, установка в данном блоке имеет обозначение в виде кода точки входа в блок по гиперссылке. В результате такого формирования блока пользователь может легко усмотреть наличие искомой информации об интересующем его объекте и непосредственно перейти к его просмотру. Кроме того, облегчается процесс модификации и корректировки представленного блока.

3.2. Инструменты и приборы. Блок включает описания и характеристики

измерительных инструментов и приборов, которые непосредственно применяются при выполнении операций. Он формирован таким же образом, что и вышеописанные. Он достаточно информативен. Поэтому здесь выделены подгруппы: инструменты и приборы. В целях улучшения ориентации пользователя в начальной части приводятся общие сведения о блоке, с которыми, при необходимости, можно ознакомиться, перейдя к такой информации по гиперссылке.

3.3. Топливо-смазочные и расходные материалы. Блок включает в себя описание свойств и характеристик топливно-смазочных и специальных расходных материалов, используемых при техническом диагностировании и техническом обслуживании тракторов. Блок сформирован аналогично вышеописанным.

3.4. Предприятия ресурсного обеспечения. Блок призван собирать все сведения о предприятиях и об их ресурсах по проведению операций обслуживания тракторов и грузовых автомобилей.

Для организации действий по выбору необходимых блоков формируется три блока-меню. Первый блок-меню ориентирован на выполнение процессов обслуживания тракторов, а второй – грузовых автомобилей. Третий блок-меню ориентирован на блоки общего характера. В заключительной части предусматривается блок «Выход из СИС», организующий окончание операций завершения процесса использования СМС. Можно предполагать, что методические приемы оценки эффективности применения СИПТОТ и СИПТОГА, приведенные в [10], могут быть реализованы и применительно к обобщенной информационной системе.

Выводы. Аналитическим обобщением структурных блоков СИПТОТ и СИПТ, а также на основе ввода в рассмотрение общих, модельных и управляющих блоков можно представлять единую структуру СИС, в которой вопросы информационной поддержки технического обслуживания и технического диагностирования тракторов и грузовых автомобилей отражаются комплексно. Обобщённую структуру, а так же состав и основные функции общих, модельных и управляющих блоков СИС целесообразно реализовывать на основе изложенных в работе концептуальных положений.

Библиографический список

1. Жуленков В.И., Фасхутдинов Х.С., Хисметов Н.З. Пути управления качеством технического сервиса машин агропромышленного комплекса. Казань: Казанский университет, 2010. 228 с.

2. Технологическое руководство по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных комбайнов. М.: Росинформагротех. 2006. 244 с.

3. Криков А.М., Бердникова Р.Г. Разработка системы информационного сопровождения технического обслуживания тракторов // Электроэнергетика в сельском хозяйстве: Материалы Международной научно-практической конференции. Эрлагол, 2009. С. 308-312.

4. Кузин Е.С. Представление знаний и решение информационно-сложных задач в компьютерных системах // Приложение к журналу «Информационные технологии». N4, 2004. 36 с.

5. Евгенев Г.Б. Системология инженерных знаний. М., 2001. 520 с.

6. Бердникова Р.Г., Криков А.М. Информационное обеспечение технического обслуживания тракторов // Труды ГОСНИТИ. М.: ГОСНИТИ, 2013. Т. 113. С. 173-178.

7. Криков А.М., Бердникова Р.Г. Требования к системе информационной поддержки технической диагностики и технического обслуживания энергонасыщенных

тракторов // Труды ГОСНИТИ., Т. 110, Ч. 1. М., ГОСНИТИ. 2012. С. 135-138.

8. Криков А.М., Федоров А.Г. Совершенствование процессов технического обслуживания грузовых автомобилей в АПК с использованием системы информационной поддержки // Материалы II Международной научно-практической конференции. «Инновационные технологии сервиса транспортных средств». Новосибирск: НГПУ, 2014. С. 85-90.

9. Федоров А.Г., Криков А.М. Система информационного обеспечения технического обслуживания грузовых автомобилей АПК // Труды ГОСНИТИ. Том 124, Ч. 1. Материалы Международной научно-практической конференции. «Научные проблемы технического сервиса с.-х. машин». М., ГОСНИТИ, 2016. С. 36-41.

10. Федоров А.Г., Криков А.М. Оценка эффективности технического обслуживания грузовых автомобилей с применением системы информационной поддержки // Материалы I Всероссийской заочной научно-практической конференции «Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация». Чита: ЗабГУ. 2016. С. 1-10.

11. Соловьев Р.Ю., Лялякин В.П., Фрибус В.К., Силина М.И. Типовой проект построения эффективности системы менеджмента качества в соответствии со стандартами ИСО 9000 для предприятий технического сервиса АПК // ГОСНИТИ, Москва, 2009. Сер. Т. 156 С.

References

1. Zhulenkov, V.I., Faskhutdinov, Kh.S., Khismetov, N.Z. Ways to control quality of maintenance service of machines in agribusiness industry. Kazan: Kazan University, 2010. 228.

2. Technological guidelines on diagnosing tractors and self-propelled harvesters. M.: FGNU "Rosinformagrotech", 2006. 244.

3. Krikov A.M., Berdnikova R.G. Development of information support system for tractor maintenance // Electrical power engineering in agriculture: Proc. Int. Conf. Erlagol, 2009. 308-312.

4. Kuzin E.S. Knowledge representation and solving information complicated tasks in computer systems // J. Inf. Tech. (Suppl.), N4, 2004. 36.

5. Evgenev G.B. Systemology of engineering knowledge. M.: 2001. 520.

6. Berdnikova R.G., Krikov A.M. Information support to tractor maintenance: Proc. GOSNITI. M.: GOSNITI, 2013. Vol. 113. 173-178.

7. Krikov, A.M., Berdnikova, R.G. Requirements to information support system for diagnostics and maintenance of high power tractors // Proc. GOSNITI. – M., GOSNITI, 2012. Vol. 110, Part 1. 135-138.

8. Krikov A.M., Fedorov A.G. Improvement of truck maintenance processes in agribusiness industry using information support system // Proc. II Int. Conf. "Innovative technologies for transportation service". Novosibirsk: NGPU, 2014. 85-90.

9. Fedorov A.G., Krikov A.M. Information support system for truck maintenance in agribusiness industry // Proc. GOSNITI. Vol. 124, Part 1. Proc. Int. Conf. "Scientific issues in maintenance service of farm machinery". M.: GOSNITI, 2016. 36-41.

10. Fedorov A.G., Krikov A.M. Assessment of truck maintenance effectiveness using information support system // Proceeding of the I All-Russian Correspondence Science and Practice Conference "Land transportation and technologies: designing, manufacturing, operation". Chita: ZabGU, 2016. 1-10.

11 Solovyov R.Yu., Ljaljakin V.P., Fribus V.K., Silina M. The standard project of creation of system effectiveness of quality management according to the ISO 9000 standards for the enterprises of technical service of agrarian and industrial complex // GOSNITI, Moscow, 2009. 156.

УДК 621

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗА В ДЕТАЛЯХ МАШИН

Алексей Алексеевич Соломашкин, инженер,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: littor2013@gmail.com

Реферат. *Качество и объем выполняемых машиной работ зависят от технического состояния этой машины. При этом техническое состояние машины может быть исправное или неисправное, работоспособное или нет, и определяется потерями механической энергии в этой машине. Исправность и работоспособность поддерживаются операциями технического обслуживания и ремонта (ТОР). Эти операции определяются текущей политикой/стратегией ТОР. Информационной основой любой стратегии ТОР является система допусков, которая решает следующие основные задачи. Первая, это – формирование двух потоков деталей, снимаемых с эксплуатации, а именно, деталей отказавших и деталей, предварительно замененных во время диагностирования, если они уже достигли своего допуска. И вторая – определение норматива расхода запчастей, образованных этими потоками. Оптимальной считается такая система допусков, которая отвечает за формирование минимального потока отказов деталей в эксплуатации, следовательно, минимальными затратами, в том числе, и на запчасти. Из 100 процентов затрат, идущих на ремонт, 50-70 процентов идут на запчасти, на устранение последствий отказов. Это – большие деньги. Ремонт считается дорогой процедурой. Для уменьшения отказов и их последствий, существуют методики, применение которых позволяет повысить безотказность машин т.е. снизить процент отказов, а также продлить срок службы их деталей. Существует методика, основанная на использовании переменного допуска, учитывающего фактическую скорость изнашивания каждой конкретной детали в отдельности. Для группы одноименных деталей машин, исследован механизм возникновения отказа, в зависимости от скорости их изнашивания. Определен коэффициент вариации скорости изнашивания для типовых деталей машин. Показана зависимость срока службы и допускаемого значения параметра от скорости изнашивания деталей машин. Предложены безотказные системы допусков, с известными графиками проведения проверок диагностических параметров, например, при ресурсном диагностировании при ТО-3. Для графика проверки параметров с известной периодичностью, разработана формула для определения допускаемых значений параметра, при известных нормативных показателях.*

Ключевые слова: *отказ, безотказность, скорость изнашивания, срок службы, допуск, график проведения проверок.*

MECHANISM OF FAILURE IN COMPONENTS OF MACHINES

Alexey A. Solomashkin, Engineer,
Federal Research Center Agroengineering VIM,
Moscow, Russian Federation, e-mail: littor2013@gmail.com

Abstract. *The quality and scope of machine works depends on the technical condition of the machine. While the technical condition of machines can be healthy or unhealthy, healthy or not, and is determined by the mechanical energy losses in this machine. The health and working capacity supported maintenance and repair operations (THOR). These operations are defined by the current policy/strategy. The information basis of any strategy for THOR is the system of tolerances, which solves the following main tasks. The first is the formation of two streams of parts, decommissioning, namely parts failed and parts replaced during the preliminary diagnosis, if they have already reached their tolerance. And the second is the definition of standard spare parts consumption formed these flows. Optimal is considered such a system of tolerances, which is responsible for generating the minimum flow of parts failures in operation, therefore, minimal costs, including spare parts. Of 100% of the costs spent on repairs, 50 ... 70% go for spare parts, to eliminate the consequences of failures. To reduce failures and their consequences, there are techniques, which allows to increase reliability of machines i.e. reduce bounce rates as well as prolong their details. There is a technique based on the use of AC admittance, which takes into account the actual rate of wear of each parts separately. For the same group of machine parts, the mechanism of occurrence of failure, depending on the speed of their wear and tear. Defined coefficient of variation speed for typical wear of machine parts. Dependence of life and allowed parameter values from the speed of wear of machine parts. Proposed failsafe system tolerances, with famous chart audits of diagnostic parameters, for example, if the resource with that diagnosis-3. Verify the settings for graphics with known frequency, developed the formula for determining the permitted parameter values, the normative indicators.*

Keywords: *failure, reliability, speed, durability, wear tolerance, schedule inspections.*

На сегодня существует два вида отказа [1]. Первый, это – физический отказ, и второй – параметрический. При физическом отказе наступает разрыв кинематической цепи механизма. Машина теряет работоспособность, останавливается и выходит из строя. Для дальнейшей ее работы необходимо направить ее в ремонт для восстановления свой исправности и работоспособности. При параметрическом отказе, физический отказ может и не наступить, но наблюдается вывод за пределы участка: допускаемое значение контролируемого параметра, (например, диагностического параметра) – предельное значение параметра. Считается, что это синдром отказа, и машину нужно дополнительно продиагностировать, чтобы предупредить возможный отказ.

Для предупреждения возможных отказов в эксплуатации разработаны методы и средства диагностирования, позволяющие прогнозировать вероятность отказов и заблаговременно проводить замену «ненадежных» деталей, которые могут отказать в следующем межконтрольном периоде [2, 3].

Одним из эффективных способов предупреждения отказов в эксплуатации является использование ресурсосберегающей системы допусков, раз-

работанной для деталей с/х машин, учитывающей скорость изнашивания каждой конкретной детали в отдельности [4, 5]. В случае, если во время ресурсного диагностирования, значение диагностического параметра окажется больше установленного для данной детали допуска, то такая деталь снимается с последующей эксплуатации и поступает в ремонт. Такая ситуация наблюдается в тех случаях, когда скорость изнашивания детали, превышает установленный для данной наработки норматив.

Рассмотрим влияние скорости изнашивания на основные показатели надежности деталей машин, т.е. на вероятность отказа Q и средний срок службы Тсл [6].

Цель исследований – для группы одноименных деталей машин, исследовать механизм возникновения отказа, в зависимости от скорости их изнашивания. Определить коэффициент вариации скорости изнашивания для типовых деталей машин. Показать зависимость срока службы и допускаемого значения параметра от скорости изнашивания деталей машин. Определить зависимость допускаемых значений параметра от графика проведения проверок с известной периодичностью. Показать возможные варианты использования этих знаний в ресурсном диагностировании машин.

Материалы и методы. Исследования проводились для группы одноименных деталей, например, плунжерных пар топливных насосов высокого давления ТНВД [7, 8].

Моделировались отказы деталей с различной скоростью изнашивания. Скорость изнашивания изменялась в несколько раз, от очень большой до самой малой. Коэффициент вариации менялся в диапазоне 0,3…0,6 [9]. Благодаря этому был охвачен большой класс деталей машин, использующийся в сельском хозяйстве. Рассматривались модели отказов деталей с различными скоростями изнашивания. Обосновывались модели работы деталей машин с минимальной вероятностью отказа, практически безотказные модели. Для частных случаев выявлялись зависимости, устанавливающие связи скорости изнашивания с системой допусков, при известных нормативных показателях деталей машин в эксплуатации.

Результаты и обсуждение. В результате моделирования различных скоростей изнашивания для различных участков наработки деталей машин установлено, что детали с различной скоростью изнашивания отказывают по-разному.

Первыми отказывают детали машин с большой скоростью изнашивания. Затем отказывают детали со средней скоростью, а самыми последними, отказывают детали, у которых самая малая скорость изнашивания. Колебания скорости изнашивания доходит до нескольких раз и зависит от условия эксплуатации деталей машин.

На рисунке 1 изображена ситуация, когда скорость изнашивания деталей (скорость изменения параметра Vизм. пар), из группы одноименных деталей, самая большая - Vизм. пар. 1 = V1. Она наблюдается на участке наработки от 0 до tk_1.

На участке tk1 < T < tk2 (рис. 2) скорость изнашивания V2 и она меньше чем V1. На участке T > tk2 (рис. 3) скорость изнашивания V3, и она самая маленькая для этой группы одно именных деталей.

Предварительные исследования скорости изнашивания типовых деталей сельскохозяйственных машин показали, что коэффициент вариации скоро-

сти изнашивания для таких групп одноименных деталей составляет 0,3-0,6.

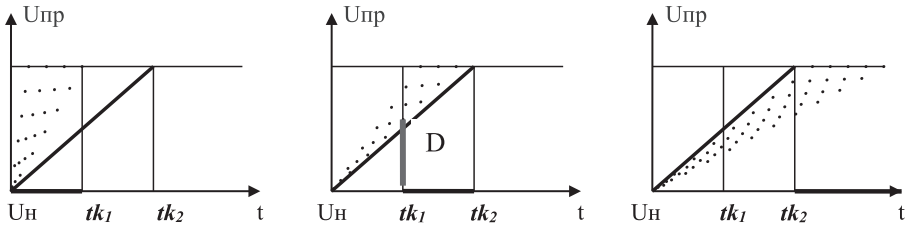


Рис. 1
$0 < T < tk_1$
Vизм. пар. 1 = V1
V1 = (Uпр – Uн) / tk1

Рис. 2
$tk_1 < T < tk_2$
Vизм. пар. 2 = V2
V2 = (Uпр – Uн) / tk2

Рис. 3
$T > tk_2$
Vизм. пар. 3= V3
V3 = (Uпр – Uн) / tk_i $tk_i >> tk_2$

D – допуск V1 > V2 > V3

Особенность таких групп состоит в том, что в первую очередь выходят из строя детали с большой скоростью изнашивания. Такие детали имеют самый маленький срок службы Тсл. Вероятность их отказа самая высокая и они должны заменяться в первую очередь. Для них устанавливают самый малый по величине допуск D. Такой допуск позволит заменить их в первую очередь, предотвратив отказ в следующие периоды, например, в период $tk_1 < T < tk_2$.

Зависимость допуска Di и срока службы Тсл приведена на рисунке 4.

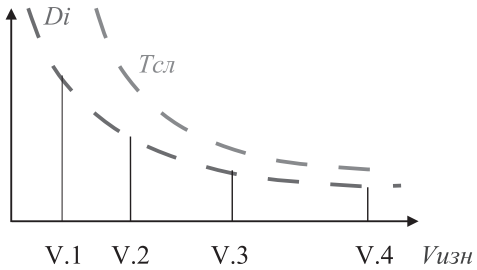


Рис.4. Зависимость допускаемых значений параметра Di и срока службы Тсл от скорости изнашивания Vизн деталей машин

Для случая, когда известна периодичность проверки диагностического параметра – Тк = $\{tk_i\}$ получена зависимость (1) для допускаемого значения параметра D(i) [10].

$$D(i) = Uном + (Uпр – Uном)\ [tm0 + (i–1)tm/(tm0+itm)]^{alfa} \qquad (1)$$

где Uном – номинальное значение параметра, ед. параметра;

Uпр – предельное значение параметра, ед. параметра;

tm0 – начала активного участка контроля параметров, ед. наработки;

tm – межконтрольная наработка, ед. наработки;

i – номер межконтрольного периода;

alfa – коэффициент показателя степени кривой изнашивания.

На рисунке 5 слева, изображен случай использования данной зависимости при постоянной межконтрольной наработке tm. На правом рисунке (рис. 6) изображен случай, когда межконтрольная наработка tm ≠ const.

Оба случая приводят ситуацию, когда вероятность отказа Q равна нулю, т.е. безотказную систему допусков. В первом случае (рис. 5) межконтрольная наработка постоянная - tm = const, во втором (рис. 6) – нет.

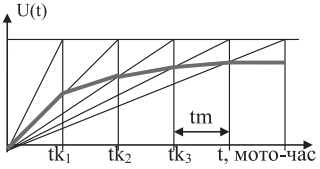


Рис. 5. tm = const

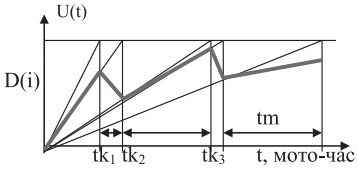


Рис. 6. tm ≠ const

Выводы

Для группы одноименных деталей машин исследован механизм возникновения отказа, в зависимости от скорости их изнашивания.

Определен коэффициент вариации скорости изнашивания для типовых деталей машин – 0,3-0,6.

Показана зависимость срока службы и допускаемого значения параметра от скорости изнашивания деталей машин.

Получена зависимость для определения допускаемого значения параметра для графика проверки параметров с известной периодичностью, при известных нормативных показателях.

Библиографический список

1. Аллилуев В.А., Ждановский Н.С., Николаенко А.В. и др. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. М.: Колос, 1978. 287 с.

2. Артемьев Ю.Н. Методика расчета допускаемых при ремонте размеров, зазоров и натягов тракторных деталей и сопряжений. Труды ГОСНИТИ, Т.4. 1964.

3. Артемьев Ю.Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1981. 239 с.

4. ГОСТ 27.302-86 Надежность в технике. Методы определения допускаемого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. М.: Из-во Стандартов 1986. 15 с.

5. ГОСТ 27.503-81 Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности [Электронный ресурс]. ФГУП «Стандартинформ». М.: ГСП-5. 2006. – [http://www.gosinfo.ru/catalog.].

6. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 335 с., ил.

7. Михлин В.М., Дорогой В.Н. Метод определения допускаемых износов деталей, обеспечивающих повышение их безотказности // Вестник машиностроения. 2008. N7. С. 11-14

8. Соломашкин А.А. Параметры технического состояния деталей машин. – Труды ГОСНИТИ. 2014. Т.116. С. 52-56.

9. Соломашкин А.А. Стратегии технического обслуживания и ремонта машин. – Труды ГОСНИТИ. 2017. Т.128. С. 145-151.

10. Методика определения основных показателей надежности СТО ФНАЦ ВИМ 004-2018.

11. Загородских Б.П., Лялякин В.П., Плотников П.А. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей // М.: Росинформагротех. М.: 2006. 212 С.

References

1. The Alliluyev V.A., Zhdanov N.S. Nikolaenko A.V. and etc. Technical diagnosis of

tractors and combine harvesters M.: Kolos, 1978. 287.

2. Artemiev Yu.N. Method of calculation permitted under the repair sizes, clearances, and tightness of tractor parts and mates. Proceedings of GOSNITI, vol. 4, 1964.

3. Artemiev Yu.N. The quality of repair and reliability of machines in agriculture. - Moscow: Kolos, 1981. 239.

4. GOST 27.302-86 Reliability in engineering. Methods of determining deviation of the parameter of the technical condition and forecasting of a residual resource of components of aggregates of machines. M.: From the standards of 1986. 15.

5. GOST 27.503-81 Reliability in technology. The system of collecting and processing information. Methods for assessing reliability indicators [Electronic resource]. FGUP «STANDARTINFORM». Moscow: GSP-5. 2006. [http://www.gosinfo.ru/catalog.].

6. Mikhlin V.M. managing the reliability of agricultural machinery. - Moscow: Kolos, 1984. 335.

7. Mikhlin V.M. Dear V.N. The method of determining the permissible wear of parts, to ensure increase of their reliability // journal of mechanical engineering – 2008. N7. 11-14

8. Solomakhin A.A. Technical Parameters of machine parts. – Proceedings of GOSNITI. 2014. T. 116. 52-56.

9. Solomakhin A.A. The Strategy of technical maintenance and repair of machines. – Proceedings of GOSNITI. 2017. T. 128. 145-151.

10. The method of determining the basic reliability indicators STO FNATS VIM 004-2018.REFERENCES

11. Zagorodskikh B.P., LyalyakinV.P., Plotnikov P.A. Repair and regulation of the fuel equipment autotractor and kombaynovykh of diesels/M: FGNU «Rosinformagrotekh». Moscow, 2006. 212.

УДК 629.331(075)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ОСЦИЛЛОГРАММЕ ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ

Виталий Владимирович Кострицкий,
старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта;
Виктор Александрович Фруцкий, кандидат технических наук,
Полоцкий государственный университет
г. Новополоцк, Беларусь, e-mail: kostritsky.vitaly@yandex.by
Игорь Михайлович Макаркин, старший научный сотрудник

Реферат. *Методы проверки технического состояния цилиндропоршневой группы и газораспределительного механизма бензиновых двигателей должны иметь небольшую трудоемкость и обеспечивать надлежащую достоверность и экономичность диагностирования. К таким методам можно отнести метод определения состояния цилиндропоршневой группы и газораспределительного механизма по полученным осциллограммам давления в цилиндре. Осциллограмма давления в цилиндре не отображает те или иные параметры механической части двигателя непосредственно. Она отображает процесс движения газов в цилиндре, по которому можно косвенно судить о работе механизма газораспределения, состоянии цилиндропоршневой группы, проходимости выпускного и впускного трактов. Также по осциллограмме давления в цилиндре можно судить о моментах открытия, закрытия либо перекрытия клапанов. Нужно понимать, что это не есть их реальные геометрические углы, обусловленные конструкцией распределительного вала. Это характерные точки газодинамических процессов в цилиндре, дающие лишь косвенную информацию. Для получения осциллограммы и выполнения диагностических процедур необходимо использовать мотортестер с датчиком, предназначенным для измерения давления. Такой датчик входит в комплект любого мотортестера. Датчик необходимо установить в исследуемый цилиндр вместо вывернутой свечи, а высоковольтный провод этой свечи установить на разрядник. В случае, когда двигатель оснащен единым модулем зажигания на все цилиндры, необходимо снять модуль и установить дополнительные высоковольтные провода между его выводами и свечами. Если возможно, отключить разъем от форсунки диагностируемого цилиндра, чтобы исключить подачу топлива. При снятии осциллограммы необходимо использовать внешнюю синхронизацию. Затем необходимо запустить двигатель и снять осциллограмму. Такая методика получения осциллограммы давления в цилиндре проста и не трудоемка, поэтому может заменить классические методы диагностирования цилиндропоршневой группы и газораспределительного механизма, а также применяться как экспресс-диагностика для большинства бензиновых двигателей.*

Ключевые слова: *осциллограмма давления в цилиндре, датчик давления, симметричность фаз газораспределения.*

INCREASING THE EFFICIENCY OF DIAGNOSTICS OF A PETROL ENGINE ON A OSCILLOGRAPH PRESSURE IN A CYLINDER

V. Kostritsky,
V. Fruzki
«Polotsk State University», Novopolotsk, Belarus
Igor M. Makarkin, senior researcher

Abstract. *Methods for checking the technical condition of the cylinder-piston group and the gas-distributing mechanism of gasoline engines should be of little labor and ensure proper reliability and cost-effectiveness of diagnosis. Such methods include the method for determining the state of the cylinder-piston group and the gas distribution mechanism from the obtained oscillograms of the pressure in the cylinder. The oscillogram of pressure in the cylinder does not display any of the parameters of the mechanical part of the engine directly. It displays the process of gas movement in the cylinder, which can indirectly judge the operation of the gas distribution mechanism, the condition of the cylinder-piston group, the patency of the exhaust and intake tracts. Also on the oscillogram of pressure in the cylinder, you can judge the opening, closing or closing of the valves. It must be understood that this is not their real geometric angles due to the design of the camshaft. These are the characteristic points of gas-dynamic processes in the cylinder, giving only indirect information. To obtain an oscillogram and perform diagnostic procedures, it is necessary to use a motor tester with a sensor for measuring the pressure. Such a sensor is included in the kit of any motor tester. The sensor should be installed in the investigated cylinder instead of the inverted candle, and the high-voltage wire of this candle should be placed on the arrester. In the case when the engine is equipped with a single ignition module for all cylinders, it is necessary to remove the module and install additional high-voltage wires between its terminals and candles. If possible, disconnect the connector from the injector of the diagnosed cylinder to eliminate fuel supply. When you remove the waveform, you need to use external synchronization. Then you need to start the engine and remove the waveform. This method of obtaining a pressure oscillogram in a cylinder is simple and not labor-consuming, so it can replace the classical methods of diagnosing a cylinder-piston group and a gas distribution mechanism, and also be used as an express diagnostic for most gasoline engines.*

Keyword: *oscillogram of pressure in the cylinder, pressure sensor, symmetry of the phases of the gas distribution.*

Введение. На практике используется множество классических методов проверки технического состояния ЦПГ и ГРМ: измерение компрессии и разряжения, времени падения давления в камере сгорания, расхода газов, прорывающихся в картер двигателя; определение расхода моторного масла на угар, изучение качественного и количественного состава частиц износа в масле; прослушивание стетоскопом акустических сигналов соударяющихся кинематических пар [1 – 5].

Однако одна группа этих методов имеет малоинформативные и неоднозначные параметры (измерение компрессии, определение времени падения давления в камере сгорания, прослушивание стетоскопом), а в состав другой группы входят методы, обладающие высокой трудоемкостью (опреде-

ление расхода моторного масла, качественного и количественного состава частиц износа в масле и др.) [6-8]. Поэтому метод проверки состояния ЦПГ и ГРМ должен иметь небольшую трудоемкость и обеспечивать надлежащую достоверность и экономичность диагностирования. К таким методам можно отнести метод определения состояния ЦПГ и ГРМ по полученным осциллограммам давления в цилиндре. Однако анализ этих осциллограмм в настоящие время вызывает много споров и вопросов.

В статье рассмотрены характерные точки и участки осциллограммы давления в цилиндре бензинового двигателя, по которым можно судить о состоянии ЦПГ и ГРМ.

Цель исследований – повышение эффективности диагностирования бензинового двигателя по осциллограмме давления в цилиндре.

Материалы и методы. Для получения необходимых осциллограмм и выполнения диагностических процедур необходимо использовать мотортестер с датчиком, предназначенным для измерения давления. Принцип действия датчика давления заключается в измерении давления/разряжение в диапазоне – 0.95…+35 bar и преобразовании его в напряжение.

Датчик давления вворачивают в диагностируемый цилиндр двигателя на место свечи зажигания. Если свечной колодец глубокий, то на входной штуцер датчика давления устанавливается удлинитель. Разъём датчика давления подключается к одному из каналов мотортестера. Высоковольтный провод цилиндра подключается к искровому разряднику с зазором ~5 мм. Разрядник при помощи зажима типа «крокодил» подключается к «массе» двигателя. Датчик синхронизации мотортестера устанавливается на этот же высоковольтный провод и подключается к соответствующему входу мотортестера.

Затем необходимо запустить диагностируемый двигатель и в окне программы мотортестера выбрать режим измерения давления в цилиндре. Допускается работа двигателя с установленным датчиком давления в цилиндре не более 3-х минут. Для уменьшения погрешности измерений, возникающей вследствие неравномерности вращения коленчатого вала двигателя, рекомендуется проводить измерения при несколько повышенной частоте его вращения на холостом ходу без нагрузки, например, при 1200 об/мин [9].

Результаты и обсуждение. Положение характерных точек и участков графика давления в цилиндре бензинового двигателя внутреннего сгорания позволяет определить взаимное положение коленчатого и газораспределительных валов, а измерение и сравнение значений абсолютного давления в цилиндре в некоторых характерных точках графика позволяет определить состояние диагностируемого цилиндра. На рисунке 1 приведен график давления в цилиндре с характерными точками и участками, которые отмечены буквами.

Чем больше степень сжатия в диагностируемом цилиндре – тем больше значение давления в цилиндре в точке А, а с ухудшением качества уплотнений диагностируемого цилиндра, значение давления в цилиндре (динамическая компрессия) в точке А уменьшается. Также, чем больше степень открытия клапана холостого хода, выше нагрузка на коленчатый вал двигателя, ниже температура охлаждающей жидкости, больше отклонение состава топливовоздушной смеси в работающих цилиндрах от состава с коэффициентом λ (Лямбда) 0,8-0,9, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

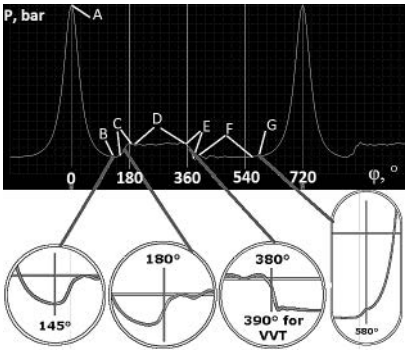


Рис. 1. График зависимости давления в цилиндре P от угла поворота коленчатого вала φ (двигатель работает на холостом ходу)

При работе прогретого до рабочей температуры исправного бензинового двигателя на холостом ходу без нагрузки, давление в цилиндре (динамическая компрессия) в точке A равно 4-6 bar. Если же при работе бензинового двигателя на холостом ходу давление в цилиндре в точке A ниже 3 bar, воспламенение рабочей смеси в таком цилиндре на холостом ходу происходить не будет.

По положению точки B, можно судить о правильности установки выпускного газораспределительного вала бензинового двигателя. Если точка B (начало открытия выпускного клапана) находится в пределах от 130° до 160° после ВМТ 0° (50°…20° перед «нижней мертвой точкой» (НМТ 180°)), то момент начала открытия выпускного клапана считают установленным правильно.

По положению участка C, можно судить о правильности установки выпускного газораспределительного вала двигателя. Если участок C находится в пределах диапазона 170°-195° после ВМТ 0° (– 10°…+15° от НМТ 180°), то момент открытия выпускного клапана считают установленным правильно.

На участке D происходит выпуск отработавших газов. Среднее значение давления в цилиндре на такте выпуска отработавших газов должно быть близким к атмосферному давлению. Повышение абсолютного давления в цилиндре более чем на 0,5 bar относительно атмосферного давления в середине участка D указывает на затруднённый отток газов из цилиндра. Ухудшение оттока газов из цилиндра в выпускной коллектор может наступить вследствие недостаточного открытия выпускного клапана либо вследствие недостаточной пропускной способности выхлопной системы двигателя. Выпускной клапан может открываться на недостаточную величину из-за неисправной работы гидрокомпенсатора, из-за неправильной регулировки теплового зазора, в случае если двигатель не оснащён гидрокомпенсаторами тепловых зазоров клапанного механизма или из-за износа кулачка распределительного вала, открывающего выпускной клапан. Пропускная способность выхлопной системы двигателя может ухудшиться вследствие механического повреждения металлических труб системы выпуска отработавших газов или вследствие того, что каналы глушителя оказались перекрытыми остатками разрушившегося катализатора.

По положению участка E можно судить о правильности установки впуск-

ного газораспределительного вала бензинового двигателя. Если участок E находится в пределах 370°-390° после ВМТ 0° (±10° от отметки 380° после ВМТ 0°), то момент открытия впускного клапана считают установленным правильно. Для двигателей оснащённых системой изменения фаз газораспределения (например, система VVT) участок E должен находиться в пределах 380°-400° после ВМТ 0° (±10° от отметки 390° после ВМТ 0°).

На участке F в цилиндр перетекает воздух из впускного коллектора через открытый впускным клапаном канал. Повышение абсолютного давления в цилиндре более чем на 0,5 bar относительно текущего атмосферного давления в середине участка F указывает на затруднённый приток газов в цилиндр. Ухудшение наполнение цилиндра может наступить вследствие недостаточного открытия впускного клапана либо вследствие недостаточной пропускной способности впускного коллектора. Пропускная способность впускного коллектора может ухудшиться вследствие его механического повреждения.

По положению точки G можно судить о правильности установки впускного газораспределительного вала. Если точка G (конец закрытия впускного клапана) находится в пределах 560°-600° после ВМТ 0°, то момент конца закрытия впускного клапана считают установленным правильно.

Также по осциллограмме можно определить симметричность фаз газораспределения. Фазы газораспределения различных двигателей различаются, так как это существенно влияет на характеристики двигателя. Установка «узких» фаз газораспределения (уменьшенная продолжительность фазы впуска и фазы выпуска) позволяет улучшить крутящий момент двигателя в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала; установка «широких» фаз газораспределения (увеличенная продолжительность фазы впуска и фазы выпуска) позволяет повысить мощность двигателя в диапазоне высоких частот вращения коленчатого вала. Однако, независимо от выбранной производителем ширины фаз газораспределения, в подавляющем большинстве случаев наблюдается «симметричность фаз» газораспределения – то есть, характерные точки B и G графика давления в цилиндре практически любого исправного двигателя расположены симметрично относительно точки ВМТ 360° [10].

При диагностировании двигателей различных марок автомобилей по анализу осциллограмм давления в цилиндре был выявлен ряд неисправностей в системах ГРМ и ЦПГ.

1. Автомобиль Audi 100 C3 1986 г. имел признак неисправности, который проявлялся в виде неравномерной работы двигателя на всех режимах. Осциллограмма давления в цилиндре данного автомобиля имела вид, представленный на рисунке 2.

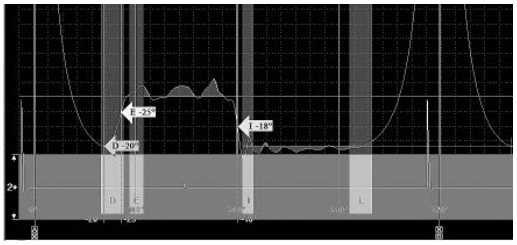


Рис. 2. Осциллограмма давления газов в цилиндре автомобиля Audi 100 C3

На осциллограмме видно, что точки начало открытия выпускного клапана, полного открытия выпускного клапана и перекрытия клапанов смещены в сторону раннего открытия на 20°, 25° и 18° соответственно. Это свидетельствует о том, что распределительный вал смещен относительно коленчатого вала по часовой стрелке, что свидетельствует о неправильной установки ремня ГРМ при его замене (ремень ГРМ был смещен на 2 зуба относительно имеющихся меток).

2. Автомобиль Fiat Marea 1,6 1996 г. Этот автомобиль также имел признаки неисправности, которые характеризовались как плохой запуск двигателя, потеря мощности и нестабильная работа двигателя под нагрузкой. Осциллограмма давления в цилиндре данного автомобиля имела следующий вид (рис. 3).

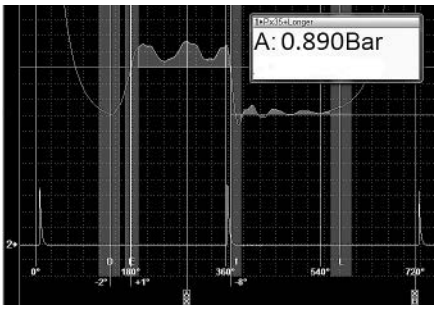


Рис. 3. Осциллограмма давления газов в цилиндре автомобиля Fiat Marea 1,6 1996 г

Противодавление в выпускном тракте превысило 0,50 bar и составило 0,89 bar, причиной этого являлся забитый катализатор.

3. Автомобиль Hundai Sonata 2.0 1997. Двигатель автомобиля Hundai Sonata работал нестабильно на всех режимах. По осциллограмме давления в 1-ом цилиндре было выявлена низкая динамическая компрессия (рис. 4).

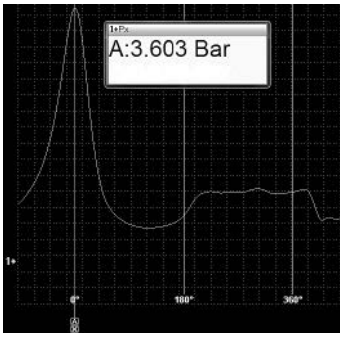


Рис. 4. Осциллограмма давления в цилиндре автомобиля Hundai Sonata 2.0 1997 г

Причиной нестабильной работы, а, следовательно, и низкой компрессии оказалось сломанное компрессионное кольцо в 1-ом цилиндре.

Выводы. Осциллограммы давления газов позволяют получить большое количество достаточно информативных диагностических параметров таких как: динамическая компрессия, начало открытия выпускных клапанов, полное открытие выпускных клапанов, момент перекрытия клапанов, момент конца закрытия впускных клапанов, противодавление во впускном коллекторе, противодавление в выпускном коллекторе, симметрия фаз газораспределения, угол опережения зажигания. Эти диагностические параметра

позволяют в полной мере судить о состоянии ЦПГ и ГРМ бензинового двигателя независимо от марки и модели автомобиля.

Методика получения осциллограммы давления в цилиндре проста и не трудоемка, поэтому может заменить классические методы диагностирования ЦПГ и ГРМ, а также применяться как экспресс-диагностика для большинства бензиновых двигателей.

Библиографический список

1. Филиппова Е.М., Николаев Е.В Техническое состояние цилиндро-поршневой группы и расход картерных газов. М.: Техника и оборудование для села, 2011. N3. С. 41-42.

2. Железко Б.Е. Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов. Минск: Выш. шк., 2005. 304 с.

3. Яманин А.А., Жаров А.В.Динамика поршневых двигателей: учеб. пособие М.: Машиностроение. 2003. 464 с.

4. Гриценко А.В., Плаксин А.М. Оптимизация процесса диагностирования автотракторной техники минимизацией затрат / Вестник ЧГАА. 2013. Т. 63. С. 42-46.

5. Плаксин А.М., Гриценко А.В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин / Вестник КрасГАУ. 2013. N12. С. 185-193.

6. Пичугин А.И., Шлапак В.П. Использование комбинаций диагностических параметров для технических систем // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: Материалы 22 межгос. НТС Саратовский ГАУ. Саратов. 2010. С. 117-119.

7. Куков С.С., Гриценко А.В. Аспекты диагностирования цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером транспортных и технологических машин агропромышленного комплекса / АПК России. 2016. Т. 23. N2. С. 400-407.

8. Гриценко А.В. Метод диагностирования газораспределительного механизма по параметрам расхода воздуха и фаз газораспределения ДВС / Вестник ЧГАА. 2012. Т. 62. С. 32–34.

9. Режим доступа: http://injectorservice.com.ua/px_sensor.php – Дата доступа: 07.10.2017 г.

10. Режим доступа: http://chiptuner.ru/content/pub_33/ – Дата доступа: 19.10.2017 г.

11. Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф., Соловьев Р.Ю., Лялякин В.П. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК // М.: ГОСНИТИ. 2012. 399 С.

Preferences

1. Filippova E.M. Technical condition of the cylinder-piston group and the consumption of crankcase gases / E.M. Filippova, E.V. Nikolaev, - Moscow: Technique and equipment for the village, 2011. N3. 41-42.

2. Zhelezko B.E. Fundamentals of theory and dynamics of automobile and tractor engines: Textbook. manual for universities / B.E. Zhelezko. Minsk: Higher Education. шк., 2005. 304.

3. Yamanin A.A. Dynamics of reciprocating engines: Textbook. allowance / A.A. Yamanin, A.V. Zharov. Moscow: Mechanical Engineering, 2003. 464.

4. Gritsenko A.V., Plaksin A.M. Optimization of the process of diagnosing auto-tractor technology by minimizing costs / Bulletin of the ChGAA. 2013. 63. 42-46.

5. Plaksin A.M,, Gritsenko A.V. Development of means and methods for test diagnosis of machines / Vestnik KrasAA. 2013. N12. 185-193.

6. Pichugin, AI Use of combinations of diagnostic parameters for technical systems / AI Pichugin, VP Shlapak // Problems of profitability and operation of internal combustion engines: materials 22 intergos. NTS / FSEI HPE «Saratov GAU». Saratov, 2010. 117-119

(0,14 / 0,07 bil.h.).

7. Kukov S.S., Gritsenko A.V. Aspects of diagnosing the cylinder-piston group in the scrolling mode of the engine by a starter of transport and technological machines of the agro-industrial complex / AIC of Russia. 2016. 23. 23. N2. 400-407.

8. Gritsenko A.V. The method of diagnosing the gas distribution mechanism in terms of air flow and gas distribution phases DVS / Bulletin of the ChGAA. 2012. Vol. 62. P. 32-34.

9. Access of access: http://injectorservice.com.ua/px_sensor.php - Date of access: 07.10.2017.

10. Access mode: http://chiptuner.ru/content/pub_33/ - Date of access: 19.10.217.

11. Chernoivanov V.I., Fedorenko V.F., Solovyov R.Yu., Lyalyakin V.P. The Innovation methods of increase in postrepair reliability of agricultural machinery and investment attractiveness of the repair servicing agrarian and industrial complex/M enterprises: GOSNITI Moscow, 2012. 399.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

УДК 631.362.322

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сергей Алексеевич Сидоров, доктор технических наук;
Денис Александрович Миронов, кандидат технических наук,
Виктор Николаевич Зволинский, инженер,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru

Специфика технического уровня рабочих органов почвообрабатывающих орудий состоит в высокой их нагруженности, варьировании скоростных режимов и условий эксплуатации, сложности проведения наплавки и в необходимости правильного выбора материаловедческих методов упрочнения с учетом перспективного функционального формообразования лезвия с использованием математического аппарата и выбором современных наплавочных материалов. На первом этапе объектами исследований были плужные лемехи и отвалы плугов общего назначения, на втором – стрельчатые и рыхлительные лапы полевых культиваторов, а так же сферические диски борон и лущильников. Исследования, проведенные за последнее время по выявлению абразивных свойств основных видов почв позволили апробировать ряд интересных конструктивных и технологических инноваций по повышению ресурса рабочих органов почвообрабатывающих орудий, в результате чего повысилась наработка и скорость безотказной работы экспериментальных образцов. Однако для серийных рабочих органов вопрос повышения долговечности по-прежнему достаточно актуален, что выражается в пониженном ресурсе серийных лемехов – 5-17 га/корпус, дисков тяжелых борон 8-30 га/диск, наральников культиваторных лап (7-18 га/деталь). При этом, в результате затупления лезвий рабочих органов, повышается удельная нагрузка на орудие и, соответственно, возрастает погектарный расход горючего. В качестве рабочей гипотезы данной работы принято комплексное решение проблемы путем совместного учета конструктивных, силовых и технологических факторов, влияющих на работоспособность и износостойкость рабочих органов, а также прочностных свойств отдельно для основного материала рабочего органа и отдельно для материала лезвия (наплавки).

Ключевые слова: *параметры, рабочие органы, почвообработка, износ, упрочнение, плуг, лемех, лезвие, наплавка, долговечность, удельная нагрузка, геометрия, скорость, производительность.*

RESULTS OF SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCHES IMPROVING THE TECHNICAL LEVEL OF THE WORKING BODIES OF GENERAL-PURPOSE PLOWS

The specifics of the technical level of the working bodies of cultivation tools guns is high load, varying velocity re-presses and operating conditions, the complexity of the surfacing and of the need for correct choice of material methods of hardening from the perspective of functional formo-education of the blades with the use of mathematical tools and a variety of modern surfacing materials. In the first stage the objects of study were the plough blackroot and dumps plows General, the second field cultivators, as well as spherical discs harrows and stubbles. Research conducted recently to identify the abrasive properties of the main types of soils allowed us to test some interesting design and technological innovation to improve re-source the working bodies of tillage implements, result increased time and speed of failure-free operation time of experimental samples. However, for serial working bodies, the issue of increasing long-lasting-STI is still high, resulting in low resource serial chisels - 5...17 acres/case, heavy disk harrows 8...30 ha/drive- rolnikow hoes (7...18 ha/item). Thus, as a result of blunting of the blades of the working bodies, increased unit load instrument and, consequently, increased consumption per hectare of fuel. As a working hypothesis, this work adopted a comprehensive solution to the problem through joint consideration of the design, power and techno-logical factors that affect performance and wear resistance of working bodies, as well as the strength properties separately for the primary main material of the working body and separately for the blade material (cladding).

Keywords: *parameters, working tools, tillage, wear, hardening, plough, ploughshare, blade, welding, longevity, specific load, geometry, speed, performance.*

Повышение износостойкости и долговечности рабочих органов почвообрабатывающих орудий всегда были приоритетными задачами при совершенствовании геометрии конструкций и выборе как основного материала для их изготовления, так и внедрении новых упрочняющих материалов в виде разного рода наплавок, увеличивающих срок их службы и, в конечном итоге, способствующих сокращению времени выполнения технологической опера-ции при заданном качестве работы.

Цель исследований – разработка общих принципов совершенствования конструктивных элементов и материаловедческих приемов при создании новых рабочих органов основных видов почвообрабатывающих орудий, выражающаяся в комплексном применении этих принципов.

Материалы и методы.

1. Объекты исследований.

1.1.Особенности эксплуатации плужных отвалов и лемехов.

Согласно действующим в РФ нормативам срок службы отвалов должен составлять 250 га на корпус. Реально, в зависимости от типа обрабатываемых почв он колеблется в пределах от 12 га на песчаных и супесчаных почвах, до 240 га – в зонах с суглинистыми черноземами. По лемехам эти цифры также колеблются от 2-х до 20-ти га на деталь (корпус). Высокая нагруженность рабочих органов при эксплуатации лемешных плугов предопределяет выбор для изготовления рабочих элементов – лемехов, отвалов, полевых досок, долотьев и др. специальных сталей типа Л53 профильного проката с эвольвентной кривизной, сталей 65Г, 45, Л65 (для России), обрабатываемых до 40-43 HRC. За рубежом для этих целей используются трапециевидные,

долотообразные лемеха с приставными и накладными долотьями различного вылета (от 2 до 7 см) и др. Небольшая разница в геометрии лемехов при угле установки 42° с шириной захвата лемеха 35 и 40 см в России и 38-39° при ширине захвата 32-33 см – за рубежом. При этом угол крошения отечественных лемехов составляет 30° против 22-26° у иностранцев. Нагрузки на лемеха существенно зависят от глубины обработки, твердости и влажности почвы, скорости работы, величины перекрытия пластов и пр. Кроме того, важно местоположение лемеха на раме, так как первый лемех имеет тяговое сопротивление в 1,7-2,1 раза выше, чем последующие. Соответственно изменяется и износ лемеха [1]. Отдельные части лемеха также нагружаются не одинаково интенсивно. Так нагрузка на носовую часть в 2,5-5 раз выше, чем на лезвие [2; 3].

При вспашке слабосвязных песчаных почв наибольшему износу подвергается зона груди отвала в области первого нижнего крепежного отверстия. Выбраковка отвала в этом случае производится из-за сквозного протирания материала в зоне стыка отвала с лемехом, либо в связи с износом головки нижнего крепежного болта и отверстия в отвале.

При вспашке достаточно связных суглинистых и глинистых почв наибольший износ имеет место в зоне полевого обреза; при этом выбраковка отвала производится при линейном износе полевого обреза на уровне центра нижнего крепежного отверстия на величину 15 мм.

Поломки отвалов чаще всего происходят в районе крыльев по сечениям, проходящим через верхнее и левое нижнее крепежные отверстия, являющиеся концентраторами напряжений, либо в левой части крыла, на изгибе, в местах наибольших напряжений.

1.2. Направления материаловедческих исследований по рабочим органам плугов.

Наиболее перспективным в настоящее время является путь изыскания современных высоколегированных высокопрочных и абразивостойких сталей с низким содержанием углерода, аналогичных материалам, использующимся в конструкция зарубежных почвообрабатывающих орудий фирмы “Лемкен”, “Квернеланд»“, “Грегуар Бессон“ и др. взамен использующихся в РФ сталей 65Г, 45, Л53, Л65. При этом будет необходимо перейти и на другой режим термообработки – закалку в масле температурой 880-900 0С и низкий отпуск (190-250°С). В низкоуглеродистой стали после закалки и отпуске до 250°С, снижающем внутренние напряжения, получается достаточно пластичный мартенсит. В лучших сортах низкоуглеродистых легированных сталей при такой термической обработке достигается высокий комплекс механических свойств (σB = 1400-1700 МПа при δ = 9-10% и αH до 12-14 кгс Н/см^2. Твердость сталей повышается с 37-43 ед. HRC у используемых ранее до 49-54 HRC у новых сталей. Особенно эффективны низкоуглеродистые стали дополнительно микролегированные бором и титаном.

Эффективность использования новых материалов заключается в возможности использования проката мѐньшей, на 10-30%, толщины и расчетной износостойкости на 12-35% выше, чем у стали 65Г.

С целью упрочнения режущих элементов рабочих органов разработаны и рекомендованы наплавочные материалы повышенной твердости 56-64 HRC (табл. 2).

Таблица 1

Марки и химические составы, рекомендуемые для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих орудий

Марка стали	Содержание элементов, масс. %					
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Титан	Бор
30ХГТ	0,24-0,32	0,17-0,27	0,80-1,10	1,00-1,30	0,03-0,09	-
25ХГТЮР	0,24-0,28	0,15-0,30	0,90-1,20	0,90-1,20	0,002	0,002-0,004
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	-	-	-

Таблица 2

Химические составы применяемых твердых сплавов

Марка стали	Химический состав, масс %							
	Углерод	Хром	Марганец	Кремний	Никель	Бор	Алюминий	Основа
ПГ-ФБХ-6-2	3,5-5,5	32-37	1,5-4	1,6-2,6	-	1,3-2,0	-	железо
ПР-ФБЮ-1-4	4,5-5,2	34-35	2,7-3,2	2,5-3,0	0,8-1,4	0,5-1,0	3,2-3,7	железо
ПР-ФБЮ-2-3-Ф	Опытный новый сплав, подлежащий патентованию с добавками бора, алюминия и ванадия, на основе железа							

Технология плазменной дуговой наплавки в среде сжатого воздуха позволяет наносить упрочненные слои толщиной 0,5…4,5 мм. Высокая адгезия наплавленного слоя и повышенная (по сравнению с индукционной наплавкой) глубина проплавления позволяют избегать в эксплуатационных условиях, при использовании технологии плазменной наплавки, таких негативных факторов как «перезатачивание» и обламывание твердого сплава. Для каждого вида рабочего органа, исходя из условий максимальной «конструкционной износостойкости» определены места нанесения, толщина и ширина упрочненного слоя и технология (режимы) нанесения износостойких покрытий.

1.3. Методические аспекты улучшенного формообразования лезвий лемехов

Разработанная общая технология производства рабочих органов повышенного технического уровня, учитывает применение новых сталей и инновационных режимов термообработки. Для конкретных деталей была разработана технология упрочнения, исходя из выгодного формообразования (самозатачивания) [4].

При значительных величинах линейных износов (более 17-27 мм) параметры упрочненного лезвия с выгодными условиями формообразования должны корректироваться по достаточно сложной зависимости [4].

В общем случае основным условием выгодного формообразования упрочненного почворежущего лезвия является соблюдение следующего условия (рис. 1).

$$tg\ i \leq \frac{4}{1+\mu\cdot\tau}\frac{C_1}{C_2^H}\cdot\frac{P_1^{max}}{P_2^{max}}\cdot\frac{h}{l_2}, \quad (1)$$

где i – угол заострения лезвия, град.;

b –толщина материала лезвия, мм;

μ – коэффициент ≈ 0,001-0,003;

$$\mu = \frac{C_1\cdot k_1}{\sin i} \quad (2)$$

C_1, $C_2^Н$ – переходные коэффициенты, соответствующие верхней и нижней (наплавленной) граням лезвия, зависящие от характеристик материала, свойства почвы и др. ;

K_1 – коэффициент, определяющий наклон эпюры удельных давлений, действующих на верхнюю грань лезвия;

p_1^{max}, p_2^{max} – максимальные удельные давления (на кончике лезвия), действующие, соответственно, на верхнюю и нижнюю грани почворежущего лезвия, МПа;

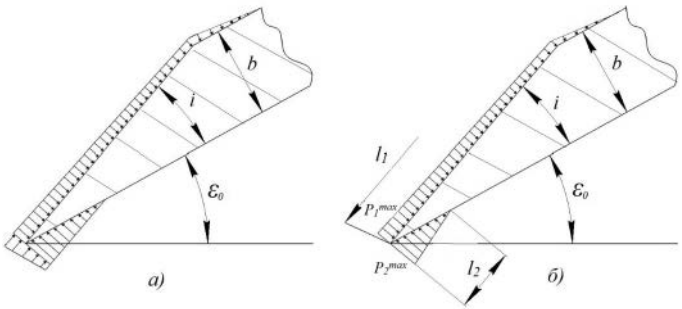


Рис. 1. Эпюры удельных нагрузок
а) нагрузки на почворежущее лезвие *б) упрощенная эпюра, действующая на изнашиваемое лезвие*

t – коэффициент, учитывающий изменение формы площади износа с треугольной на прямоугольную (рис. 1) при значительном увеличении линейного износа;

τ – наработка на рабочий орган, га;

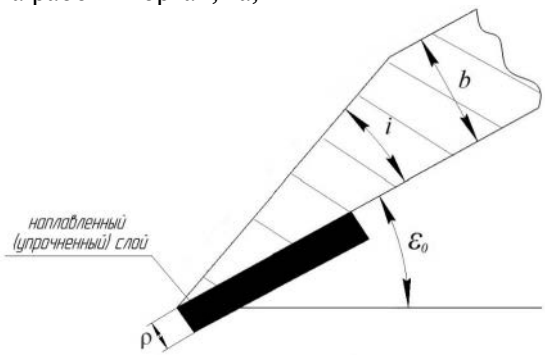


Рис. 2. К расчету биметаллического лезвия

$$t = \frac{b}{2 \cdot tg\ i \cdot V_{лин}} \approx 1 - 0{,}02\tau \qquad (3)$$

l_2 – величина, определяющая длину силового воздействия грунта на нижнюю грань (рис. 2)

$$l_2 = \frac{\sqrt{\alpha \cdot (1 - 0{,}0045 \cdot \varepsilon_0)}}{1 - 0{,}3 \cdot \sqrt[4]{V}} \qquad (4)$$

где *a* и v – соответственно глубина обработки (см), и скорость обработки (м/с).

Величина удельных давлений (p_1^{max}, p_2^{max}), в частности для лезвий лемешных и лаповых рабочих органов, определяется по зависимостям:

$$p_1^{max} \approx (0{,}05...0{,}06)\ (1–0{,}015\ \varepsilon_0)\ (1+0{,}1V)\ (0{,}8 + T)\ \text{МПа} \quad (5)$$

$$p_2^{max} \approx (0{,}025...0{,}045)\ (1–0{,}01\ \varepsilon_0)\ (1+0{,}1V)\ (1{,}3 + T^{1,5})\ \text{МПа}, \quad (6)$$

где T – твердость почвы на глубине обработки, МПа

ρ – толщина наплавленного слоя, мм.

Коэффициенты C_1, $C_2^Н$ – характеризуют изнашивающуюся способность материала граней рабочих органов в определенных почвенных условиях. Определяющим фактором, наиболее существенно влияющим на величину указанных коэффициентов следует признать «изнашивающую способность почвы» (обозначим ее λ). Предлагается следующее определение «изнашивающей способности почв»: λ – износ по толщине элементарной площадки, вырезанной из лезвийной части рабочего органа, изготовленного из стали 45 с твердостью HRC 40, эксплуатирующегося при эталонном удельном давлении $P_Э$=0,1 МПа и пути трения 25000 м, что, примерно, соответствует наработке в 1 га для лемеха плуга в мм/га.

Величина λ определяется по следующей эмпирической формуле:

$$\lambda = (X^2 + 0{,}08 \cdot Y + 1{,}5Z) \cdot T^{1/4}\ \text{мм/га}, \quad (7)$$

где X, Y, Z – процентное содержание в почве (по весу) соответственно песка, глины, и мелких каменистых включений (галька, гравий и т.п.).

$$X + Y + Z = 100\%. \quad (8)$$

Усредненные значения изнашивающей способности различных видов почв при работе на глубине 20-30 см, рассчитанный по формуле (8) приведен в таблице 3.

Таблица 3

Изнашивающая способность (λ) способность различных почв, классифицируемых Н.А. Качинским

Вид почвы	Значение λ, мм/га
Песок (рыхлый и связный)	0,74 – 0,87
Супесь	0,67 – 0,73
Суглинок легкий	0,54 – 0,62
Суглинок средний	0,45 – 0,52
Суглинок тяжелый	0,35 – 0,43
Глина легкая	0,26 – 0,32
Глина средняя	0,18 – 0,23
Глина тяжелая	0,11 – 0,16

Коэффициенты C_1 и $C_2^Н$ имеют ту же физическую природу, что и «изнашивающая способность почв», только с учетом износостойкости конкретного материала и величины реального удельного давления.

$$C_{1,2} = \frac{\lambda}{P_э \cdot k_и \cdot k_\tau \cdot k_\rho}\ \frac{\text{мм}}{\text{МПа} \cdot \text{га}}, \quad (9)$$

где $P_Э$ = 0,1 МПа – эталонное удельное давление;

$k_и$ – коэффициент относительной износостойкости материала при удельном давлении 0,1-0,12 МПа (для стали 45 – $k_и$ =1; для стали 65Г – 1,15); для наплавочных твердых материалов (табл. 2) $k_и$ = 3,8-4,5);

для k_τ – коэффициент приведения наработки в соответствии с шириной захвата конкретного рабочего органа, в расчете на 1 га наработки.

$$K_\tau \approx \frac{d \pm m}{0{,}4}, \qquad (10),$$

где 0,4 – примерная ширина захвата лемеха, м;

d – ширина захвата исследуемого рабочего органа, м;

m – величина перекрытия (–) или недокрытия (+) между рядом идущими рабочими органами, м;

$к_р$ – коэффициент, учитывающий изменение коэффициента относительной износостойкости при изменении величины удельного давления.

$$к_р = 1{,}15 - 1{,}3P + 0{,}8P^2, \qquad (11)$$

где P – удельное давление (p_1^{max}, p_2^{max}), МПа.

4. Конструктивные и материаловедческие параметры плужных лемехов.

Выбор износостойкого плужного лемеха всегда представлял определенные трудности ввиду многообразия конструкций, особенностей агротехнических и экономических качеств при использовании их на вспашке под посев конкретных культур, агрегатирующихся по навесной или прицепной схемам с различными по мощности и рабочим скоростям тракторами. Сравнительно недавно появившиеся лемехи с выдвигающимися долотами являются в нас-тоящее время наиболее универсальными, но и самыми дорогими, несмотря на несколько повышенные тяговые характеристики.

По результатам проведенных исследований предлагается к использованию 4 основные модификации опытных упрочненных лемехов повышенной надежности (рис. 3., табл. 4).

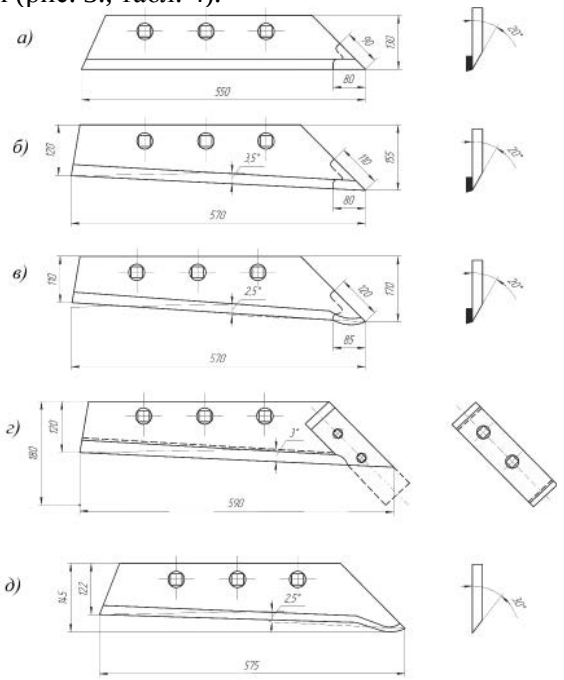


Рис. 3. Варианты конструкций лемехов плугов повышенного ресурса (а, б, в, г) в сравнении с серийным (д)

а – лезвие, параллельное спинке, с нижней наплавкой носка; профиль гладкий;

б – лемех трапециевидный, с нижней наплавкой носка; профиль гладкий;

в – долотообразный, с нижней наплавкой носка; профиль гладкий;

г – трапециевидный, с накладным оборотным сменным долотом; лезвие и долото наплавлено с нижней стороны; профиль эвольвентный;

д – серийный профиль П-702; профиль эвольвентный.

Таблица 4

Технико-экономические характеристики плужных лемехов

Вид лемеха	Материал и твердость основы, толщина листа	Вид и параметры упрочнения	Примерная цена (руб)	/ $K_Ц$	$K_Р$	$K_{эксп}$	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8
Лезвие параллельно спинке (рис. 3а)	Ст. 65Г HRC 39-42, Лист 10-12	Плазменная толстослойная наплавка носка (ρ=2,8-3,4мм)	305	1,25	0,85 -0,9	1,31	Для легких и средних почв
Трапециевидный (рис. 3б)	Ст. 65Г HRC 39-42, Лист 10…12	То же	360	1,45	0,9	1,31	Универсальный, (лучше для легких и средних почв)
Долотообразный (рис. 3 в)	Ст. 65Г HRC 39-42, Лист 10-12	То же	415	1,55	1,1	1,71	Универсальный
Трапециевидный (рис. 3г)	25ХГТЮР HRC 39-42, Лист 10-12.	Плазменная наплавка лезвия (ρ=1,7-2,1мм и долота ρ=2,8-3,4)	770	1,65	1,2	1,98	Универсальный
Серийный П-702 (рис. 3д)	Ст. Л53 HRC 41-44, лист 9	то же	230	1	1	1	Универсальный

Наряду с рекомендуемой областью применения лемехов, предложена также оценка эффективности их использования по обобщенному эксплуатационному критерию, включающего экономический и эксплуатационно-функциональные факторы, такие как заглубляющую способность, крошение пласта возможность использования в условиях большого числа древесных остатков и каменистых включений. Определяется из зависимости:

$$K_{\text{экспл.}} = \frac{K_T}{K_Ц} \cdot K_p \,, \qquad (12)$$

где $К_Т$, $К_Ц$ и $К_р$ – усредненные коэффициенты увеличения срока службы, цены и работоспособности опытного лемеха по сравнению с серийным вариантом;;

$$К_Т = Т_2/Т_1;\ К_Ц = Ц_2/Ц_1 \,, \qquad (13)$$

где $Т_1$, $Т_2$, $Ц_1$,$Ц_2$ – сроки службы и цены, соответственно серийных и опытных лемехов.

При определении сроков службы сравниваемых изделий дополнительно учитывался фактор прочности $К_{экспл.}$ (табл. 4). Наилучшие показатели по этому фактору оказались у трапециевидных эвольвентных лемехов с накладными оборотными долотами, имеющих наплавку лезвия и долотьев сталью 25ХГТЮР. И это, несмотря на относительную их дороговизну, так как ресурс этих рабочих органов в 5-6,5 раза выше, чем у серийных лемехов.

За границей чаще используются лемехи с долотообразными выдвижными накладками, имеющими еще более высокий ресурс. В России такие лемехи

используются редко ввиду неприспособленности мест крепления долотьев; требуется переработка конструкции «башмака» к которому крепится лемех.

Именно долотообразные лемеха более предпочтительно использовать для обработки наиболее тяжелых почв (более 2,5 МПа), но чистых от древесных или каменистых включений.

У наиболее простого в изготовлении лемеха (рис. 3а), фактически не имеющего в начальный период эксплуатации выраженного долота, в процессе изнашивания (после выработки 4-8 га на лемех), за счет разности в коэффициентах относительной износостойкости материалов упрочненного слоя (на носке) и основы, появляется выступающее долото на величину 0,7-1,0 см, что позволяет такому лемеху выполнять технологический процесс с удовлетворительным качеством и невысоким тяговым сопротивлением на средних и легких почвах. Имея наилучшие прочностные показатели, эти лемеха обеспечивают повышение ресурса по износу по сравнению с серийными образцами на 60-70%.

Исходя из ценового фактора, для российских потребителей можно спрогнозировать на ближайшее время повышенный спрос простых трапециевидных лемехов (рис. 3б) с укороченной носовой частью.

1.4. Совершенствование материаловедческих параметров отвалов плугов

Другой важнейшей частью лемешного плуга, влияющего на качество работы является отвал. Изготавливаясь ранее из трехслойной стали 60-10-60 по ГОСТ 6765-75 с наружными слоями из стали 60, внутренним слоем из стали 10, суммарной толщиной 7 мм, отвалы обладали высокой ударной вязкостью и достаточно высокой износостойкостью. К недостаткам можно было отнести дороговизну, связанную со сложностью производства, в основном, качественной закалкой.

Поэтому, в последние годы отвалы стали изготавливать из монометаллических прочных и высокопрочных сталей с различного рода поверхностными упрочнениями (объемной термообработкой, диффузионным термическим упрочнением наружных слоев и т.д.).

По своей конструкции различаются цельные и составные, собранные из грудок и крыльев. Второй способ изготовления является предпочтительнее, так как он обеспечивает меньший по сравнению с крыльями в 2,5-4 раза износ грудок, что позволяет существенно увеличить срок службы всего отвала.

В последние годы за рубежом все большее применение получили т.н. пластинчатые отвалы.

Наши исследования показали перспективность изготовления отвалов из высокопрочных сталей типа 25ХГТЮР или 30ХГТ с термообработкой на твердость 51-54 HRC или из стали 65Г с термообработкой на твердость 38-41 HRC. Недостатком последних является их пониженная надежность при работе на каменистых фонах.

Оценка отвалов по износостойкости производится в зонах наибольшего износа в зоне груди. Для цельных отвалов – в зонах крыльев, в районе первого нижнего крепежного отверстия и в зоне полевого обреза.

Величина износа (по толщине) в зоне первого крепежного отверстия определяется по зависимости:

$$U = C\,P\,\tau, \qquad (14)$$

где С определяется из зависимости (9).

P_1=(0,005…0,006)·(1+0,015·ε0)·(1+0,1·V)·(0,8+T) – (1,1…1,4)·10-4 , МПа (15)

где $l_{отв}$ – расстояние от лезвия лемеха до первого крепежного отверстия отвала, для отечественных плугов обычно равное 125-135 мм.

В реальных условиях величина удельного давления (P_1) колеблется от 0,006 МПа – для легких почв до 0,015 МПа – для тяжелых.

Скорость изнашивания по толщине отвалов, изготовленных из низкоуглеродистых высокопрочных сталей, составляет от 0,02 мм/га – для тяжелых и средних суглинков до 0,065 мм/га – для песчаных почв. Для отвалов, изготовленных из стали 65Г или трехслойной стали 60-10-60 эти цифры на 15-35% больше.

Значительного повышения износостойкости кромки отвала (груди отвала) можно достичь путем плазменной наплавки кромки толщиной 2,2-2,5 мм шириной 20-23 мм по всей длине кромки. Режим наплавки, производимой со скоростью 0,47-0,53 см/с током 195-200А, напряжением 35-45В, расходом порошка 85-95 г/мин и колебаниями плазмотрона 90-100 сек -1 .

Выводы.

В результате проведения научно-исследовательских работ по совершенствованию конструкций рабочих органов плугов общего назначения с точки зрения повышения их срока ходимости с сохранением высокого качества вспашки были обоснованы конструкции 4-х видов лемехов для работы на почвах различной твердости.

В качестве базового метода упрочнения лемехов предложено использование плазменно – дуговой наплавки твердыми сплавами с обоснованием конкретных режимов для каждого типа изделий [5-20].

По результатам исследований все конструкции апробированы в полевых условиях и внедрены в производство. Повышение ресурса новых рабочих органов составляет 1,8-4,5 раза по сравнению с серийными аналогами.

Теоретические обоснованы новые данные по параметрам выгодного формообразования двухслойных лезвий почворежущих рабочих органов.

На опытных образцах плугов апробированы и приведены математические описания “изнашивающей способности почв», даны рекомендации по продолжению совершенствования пластинчатых и сплошных отвалов, полевых досок плугов, долот, по применению новых перспективных материалов (сталей и сплавов) и методов их упрочнения.

Библиографический список

1. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания двухслойных почворежущих элементов при абразивном изнашивании. // Тракторы и сельхозмашины. 1985. N 6 С. 31-33.

2. Маяускас И.С. Влияние давления почвы на износ рабочих деталей почвообрабатывающих машин. // Вестник машиностроения. 1958. N 10. С. 30-32.

3. Севернев М.М. Определение сроков службы деталей машин при абразивном износе. // Труды БИМСХ. Минск. 1961. С.304-319.

4. Сидоров С.А. Методика расчета на износостойкость моно- и биметаллических почворежущих рабочих органов. // Тракторы и сельхозмашины. N 12. 2003. С. 35-39.

5. Сидоров С.А., Морозов Ф.А., Хорошенков В.К., Хлусова Е.И. Наплавочные методы повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельхозмашин. // Сварочное производство. 2015. N10. С. 35 -40.

6. Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лобачевский Я.П., Ахмедова Т.Ш. Повышение износостойкости твердосплавных толстослойных покрытий плазменной наплавкой деталей сельхозмашин. //Металлург. 2016. N 8. С.81-84.

7. Сидоров С.А. Сельхозмашиностроению – качественные материалы. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. N 2. С. 41-43.

8. Лялякин В.П., Сидоров С.А., Зволинский В.Н. Особенности и перспективы повышения работоспособности полольных лап пропашных культиваторов. // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т.123. С. 128-139.

9. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методам // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 96-104.

10. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники / Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2012. N3. С. 5-7.

11. Лобачевский, Я.П., Панов А.И, Панов И.М. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов // Тракторы и сельхозмашины. 2000. N5. С. 12-18.

12. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В.

Использование биметаллических сталей – путь к повышению ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин. Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции. Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. 2012. С. 541-545.

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

14. 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 сельскохозяйственной науки. 2013. N2. С. 80-81.

15. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Кузнецов П.А. Формирование наноструктуированных состояний для рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием средств автоматизации // Сборник научных докладов ВИМ. 2010. Т. 2. С. 407-416.

16. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Вайнерман А.Е., Пичужкин С.А., Голосиенко С.А., Чернобаев С.П., Юрков М.А. Новые износостойкие наплавочные материалы в сельскохозяйственном машиностроении // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N 6. С. 27-31.

17. 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. N6. С. 48-51. 18. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing.

Metallurgist. 2017. T. 60. N11-12. 1290-1294.

19. Izmailov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. Russian Agricultural Sciences. 2017. T. 43. N1. 71-74.

20. Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Ахмедова Т.Ш. Воробьев Д.А. Износостойкость и сопротивляемость разрушению покрытий из твердых сплавов, упрочненных карбидом вольфрама // Металлург. 2017. N11. С. 96-100.

References

1. Bernstein D.B. Evaluation of the ability of self-sharpening double-layer picwarehouse elements during abrasive wear. // Tractors and agricultural cars. 1985. N6. 31-33.

2. Mayauskas I.C. Effect of soil pressure on the wear of the working parts of soil-obrabatyvayutsya machines. // The mechanical engineering Bulletin. 1958. N10. 30-32.

3. Severnev M.M. Determination of service life of machine parts with Abrazivasive wear. // Works BEMCH. Minsk. 1961. 304-319.

4. Sidorov S.A. Calculation procedure on wear resistance of mono- and bimetallic the earth cutters. // Traktory i sel`khozmashiny. 2003. 12. 35-39. (In Russian)

5. Sidorov S.A., Morozov F.A., Horoshenkov V.K., Khlusova E.I. Surfacing methods to improve resource wear of the working bodies of agricultural machinery. //Welding production. 2015. N10. 35-40.

6. Sidorov S.A., Horoshenkov V.K., Lobachevsky J.P., Akhmedova T.S. Improvement of wear resistance of carbide, high-build coating by plasma surfacing parts of agricultural machinery. //Metallurg. 2016. N8. 81-84.

7. Sidorov S.A. Agricultural Machinery – quality materials. // Agricultural machinery and technologies. 2010. N2. 41-43.

8. Lyalyakin V.P., Sidorov S.A., Zvalinsky V.N. Features and prospects of improving efficiency pomolnyh paw tilled the stump-Vtorov. // Proceedings of GOSNITI. 2016. T. 123. 128-139.

9. Lyalyakin V.P., Solov'ev S.A., Aulov, V.F. The state and prospect of hardening and restoration of parts of tillage machines welding and surfacing methods // Proceedings of GOSNITI. 2014. V. 115. 96-104.

УДК 621.9.048

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРПУСА ГИДРОМОТОРА НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

Александр Викторович Коломейченко,
доктор технических наук, профессор;
Иван Сергеевич Кузнецов, кандидат технических наук,
доцент, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Российская Федерация, e-mail: kolom_sasha@inbox.ru;
Валерий Игоревич Иванов, кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

В современной технике используется большое количество гидравлического оборудования. Одним из широко распространенных узлов гидравлических систем машин различного назначения являются гидромоторы, которые в своей конструкции имеют корпус. При эксплуатации гидромоторов его рабочие поверхности подвергаются механическому, водородному и квитанционным видам изнашивания. По этой причине в корпусах гидромоторов образуется дефект, связанный с износом внутренней цилиндрической рабочей поверхности. Одним из методов восстановления дефектов у таких деталей, в значительной мере лишённым многих недостатков, может служить электроискровая обработка. В связи с этим в данной работе были проведены научные исследования, целью которых является разработка технологии восстановления корпуса гидромотора. Технология разрабатывалась применительно к корпусу гидромотора установки горизонтального направленного бурения Vermeer Navigator. Были проведены микрометражные исследования изношенных рабочих поверхностей корпусов гидромоторов этой установки. Износ измерялся индикатором ИЧ 10. Статистическая обработка полученной информации, проведенная с помощью прикладной компьютерной программы, показала, что средний износ рабочей поверхности корпуса при потере им работоспособного состояния составляет 25 мкм. Эпюра износа имеет форму кольца. Предлагаемая технология восстановления рабочей поверхности корпуса гидромотора включает в себя следующие операции: очистку; подготовку поверхности под нанесение электроискрового покрытия из сплава ВК6 – ОМ; электроискровую обработку изношенной поверхности, последующую механическую обработку. Электроискровой обработкой восстанавливают только изношенную часть рабочей поверхности. Покрытие наносят по окружности до выведения следов изнашивания с учетом припуска на последующую механическую обработку (10 мкм). Предлагаемую электроискровую технологию можно использовать для восстановления не только корпусов гидромоторов, но и других изношенных деталей в условиях небольших ремонтных мастерских и мелкосерийных производств.

Ключевые слова: *гидромотор, корпус, износ, электроискровая обработка, электроискровое покрытие.*

RECONDITIONING OF HYDROENGINE CASE BY LOW VOLTAGE ELECTRO SPARK MACHINING

Aleksandr V. Kolomeichenko, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ivan S. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin"

Great number of hydraulic equipment is used in modern technology. One of the most widely used joints of hydraulic systems of machines of various purpose are hydroengines, which due to their construction have a case. At hydroengine operation its working surfaces are subjected to the mechanical, hydrogen and cavitational types of wear. For this reason, in cases of hydroengines the defect connected with wear of internal cylindrical working surface is formed. Electro spark machining, considerably deprived from drawbacks, can serve as one of the methods of such elements defect reconditioning. As a result, this work contains the investigations which goal is the development of the technology of hydroengine case reconditioning. The technology was developed with regard to hydroengine case of the installation of horizontal directional drilling Vermeer Navigator. Micrometering investigations of worn working surfaces of hydroengine cases of this installation. Wear was measured with indicator ИЧ 10. Statistical processing of the obtained information done with computer application displayed that middle wear of case working surface at its losses of operational condition is 25μm. Wear distribution line has a ring form. The suggested technology of working surface of hydroengine case includes the following operations: cleaning; surface treatment for application of electro spark coating from alloy ВК6 – ОМ; electro spark machining of the worn surface and the following mechanical machining. Electro spark machining is used for reconditioning only for worn part of working surface. A coating is applied in a circumferential direction until wear tracks inference considering allowance for subsequent machining (10 μm). The suggested electro spark technology can be used for reconditioning not only hydroengines cases but also another worn elements in conditions of small repair stations and small-lot manufactures.

Keywords: *hydroengine, case, wear, electro spark machining, electro spark coating.*

Введение. В настоящее время в современных сельскохозяйственных машинах, в дорожно-строительной технике, в машинах коммунального хозяйства и другой технике используется большое количество гидравлического оборудования. Одними из наиболее дорогостоящих узлов гидравлических систем машин являются гидромоторы. Существуют большое количество типов и видов гидромоторов. Наиболее дорогостоящей деталью гидромотора является корпус. Корпуса различных гидромоторов имеют различные дефекты, в частности: трещины, сколы, износы рабочих поверхностей. Рабочие поверхности подвергаются механическому, водородному и квитанционному изнашиванию.

В настоящее время существует достаточно много перспективных способов восстановления деталей гидромоторов. Одним из методов, в значительной мере лишённым многих недостатков и получающим в последнее время

все более широкое распространение, является электроискровая обработка (ЭИО) [1]. Этот способ является наилучшим для восстановления деталей в условиях небольших ремонтных мастерских. При помощи ЭИО можно получать покрытия толщиной от 5 до 500 мкм. Теоретические и экспериментальные положения ЭИО достаточно полно показаны в работах [2-15].

Цель исследования – разработать технологию восстановления корпуса ЭИО.

Материалы и методы. Для проведения научных исследований был выбран гидромотор установки горизонтального направленного бурения Vermeer Navigator. Эскиз гидромотора представлен на рисунке 1.

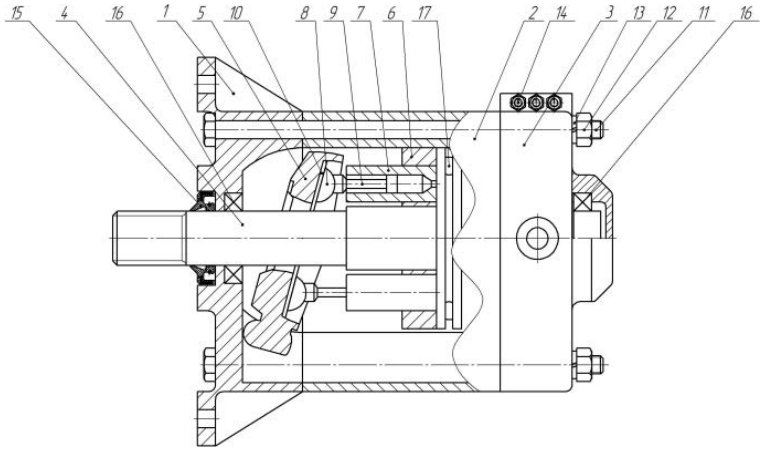


Рис. 1. Эскиз гидромотора

Гидромотор состоит из крышки 1, корпусов 2 и 3, вала 4, тарелки 5, сепаратора 6, стакана 7, обоймы 8, плунжера 9, подшипника 10. Работает гидромотор следующим образом. Качающий узел гидромотора обеспечивает переход возвратно-поступательного движения плунжеров 9 во вращательное движение вала. Тарелка 5 качающего узла имеет две бобышки для установки в корпус 1, отверстие для вала гидромотора, рабочую плоскость для подшипника скольжения, который установлен на обойме плунжерной группы. Под давлением масла плунжеры воздействуют на качающий узел через упорный подшипник скольжения и он совместно с рамой поворачивается на своих бобышках, позволяя валу совершать вращательное движение, сообщаемое ему плунжерами. Подшипник 10 через специальное кольцо упирается в корпус 3 и в процессе эксплуатации изнашивает его. Для предохранения рабочей поверхности корпуса 3 от преждевременного изнашивания имеется специальное антифрикционное графитное покрытие. В процессе эксплуатации из за не качественных смазочных материалов на рабочей поверхности корпуса появляется износ в виде кольца (рис. 2). В процессе исследований износ корпуса измеряли индикатором ИЧ 10 ГОСТ 577-68. Максимальные значения износанаходились в интервалеот 20 до 30 мкм.

Электроискровую обработку корпуса осуществляли установкой марки БИГ-4 на режиме №2 с коэффициентом энергии 0,6. Материал электрода для нанесения электроискровых покрытие выбирали по результатам испытаний на износостойкость [12, 15]. Эти исследования показывают, что для восстановления деталей машин, лимитирующих износостойкость других

изделий в сборочной единице, рекомендуется использовать электроискровое покрытие из сплава ВК6 – ОМ. В ручном режиме работы установки на чугунный корпус гидромотора наносили электроискровое покрытие из сплава ВК6 – ОМ.

Рис. 2. Корпус гидромотора

Результаты и обсуждение. Микрометрические исследования показали, что средний износ рабочей поверхности корпуса составляет 25 мкм. Эпюра износа имеет форму кольца.

Рациональное время ЭИО определяли по методике, представленной в работе [14]. На рисунке 3 изображены графические зависимости влияния удельного времени tуд обработки на толщину h и сплошность Собр. электроискрового покрытия, образованного электродом из сплава марки ВК6 – ОМ. Учитывая результаты исследований изношенных деталей, примем толщину покрытия не менее 30 мкм. Этому условию соответствует участок зависимости A-G.

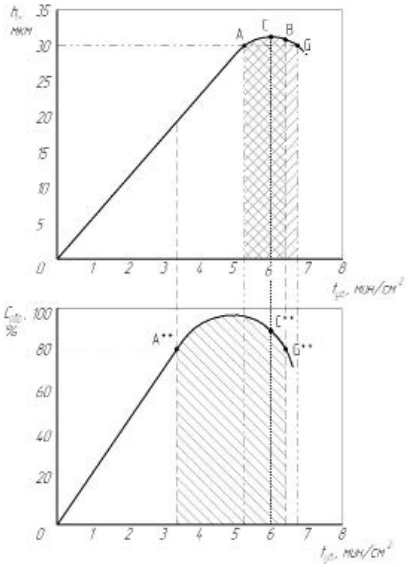


Рис. 3. Выбор рационального времени ЭИО

За условный критерий сплошности покрытия примем минимальное значение 80%, которое определено путем решения различных технологических задач. Данное условие выполняется на участке зависимости A**-G**.

Путем наложения двух критериев на зависимости (рисунок 3) получается, что для электрода из сплава ВК6 – ОМ, при обработке рабочей поверхности, режимом №5, два условия выполняются на участке кривой А-В, которому соответствует время $t_{уд}$=5-6,5 мин/см^2. Для удобства в технологическом процессе будем использовать значение $t_{уд}$=6 мин/см^2.

Технология восстановления рабочей поверхности корпуса гидромотора ЭИО включает в себя следующие операции: очистка; подготовка поверхности под нанесение электроискрового покрытия из сплава ВК6 – ОМ (удаление с поверхности окисной пленки и достижение шероховатости не грубее z=40 мкм); электроискровая обработка изношенной поверхности (режим работы установки БИГ-4 №2, $t_{уд}$=6 мин/см^2, коэффициент энергии 0,6, электрод из сплава ВК6 – ОМ диаметром 3,5 мм. Электроискровой обработкой восстанавливают только изношенную часть рабочей поверхности. Покрытие наносят по окружности до выведения следов изнашивания с учетом припуска на последующую механическую обработку (10 мкм) (рис. 4).

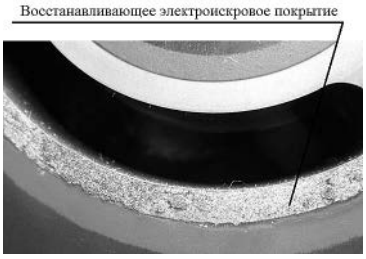


Рис. 4. Электроискровое покрытие из сплава ВК6 ОМ

Вывод. Разработанная технология позволит восстанавливать рабочие поверхности корпусов гидромоторов ЭИО покрытием имеющим характеристики: сплошность 80%, шероховатость Ra=3,2 мкм.

Библиографический список.

1. Земсков А.М., Ионов П.А., Сенин П.В. Повышение долговечности объемного гидропривода (на примере ГСТ-112) // Технология колесных и гусеничных машин. 2015. N4. С. 21-26.

2. Логинов Н.Ю. Исследование трибологических характеристик образцов с покрытием, нанесенным электроискровым методом // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. Т. 13. N2 (146). С. 67-70.

3. Агеев Е.В., Алтухов А.Ю., Карпенко В.Ю. Исследование интенсивности износа электроискровых покрытий, полученных электродами из электроэрозионной быстрорежущей стали // В сборнике: Инновации, качество и сервис в технике и технологиях Сборник научных трудов 6-ой Международной научно-практической конференции. Горохов А.А. 2016. С. 14-19.

4. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Теория и практика электроискрового упрочнения режущих деталей машин аморфными и нанокристаллическими сплавами: учеб. монография // Орел. Изд-во Орел ГАУ. 2015. 174. с.

5. Коломейченко А.В., Павлов В.З., Кузнецов И.С. О движении заряженных частиц между электродами при электроискровой обработке // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 110. Ч. 2. С. 128-134.

6. Коломейченко А.В., Павлов В.З., Кузнецов И.С. Определение скорости дрейфа заряженных частиц между электродами при электроискровой обработке // Мир транспорта и технологических машин. 2012. N 2. С. 24-30.

7. Кузнецов И.С., Павлов В.З., Коломейченко А.В. Расчет размера искровых разрядов при электроискровой обработке деталей сельскохозяйственных машин // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. Т. 7. N 7. С. 13-15.

8. Коломейченко А.В., Павлов В.З., Кузнецов И.С. Оценка размера искровых разрядов между электродами при электроискровой обработке деталей // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. N 1. С. 75-79.

9. Коломейченко А.В., Павлов В.З., Кузнецов И.С. Оценка мощности поверхностных тепловых источников, возникающих при электроискровой обработке деталей машин // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. N 2. С. 143-149.

10. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Структура электроискровых покрытий из аморфных и нанокристаллических сплавов // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 161-166.

11. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Tribotechnical properties the electrospark coating of amorphous and nanocrystalline alloys based on iron // Friction and wear. 2014. 35. N6. P. 501-504.

12. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N. Investigation of the thickness and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys // Welding International. 2015. 29. N10. P. 823-825.

13. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Кравченко И.Н. Исследования толщины и микротвердости электроискровых покрытий из аморфных и нанокристаллических сплавов // Сварочное производство. 2014. N10. С. 36-39.

14. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Определение рационального времени электроискровой обработки пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электродом из аморфного сплава марки 84КХСР // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. N3. С. 35-39.

15. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Результаты эксплуатационных испытаний деталей режущего аппарата зерноуборочных машин, упрочненных электроискровой обработкой электродом из аморфного сплава 84КХСР // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. N1. С. 91-95.

16. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М, Восстановление деталей машин. М.: 2003.

References

1. Zemskov A.M., Ionov P.A., Senin V.V. Increase of hydrostatic power drive durability (at the example of GST-112) // Technology of wheeled and tracklaying machines. 2015. N4. 21-26.

2. Loginov N.Yu. Investigation of tribological characteristics of samples with coating being applied with electro spark method // Hardening technologies and coatings. 2017. V. 13. N 2 (146). 67–70.

3. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Karpenko V.Yu. Investigation of wear rate of electro spark coatings obtained by electrodes from electroerosion high speed steel // In collection: Innovations, quality and service in engineering and technologies. Collection of research papers of 6th International research-to-practice conference. Gorokhov A.A. (editor in chief). 2016. 14-19.

4. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Theory and practice of elecrospark reconditioning of machine cutting elements by amorphous and nanocrystalline alloys: study monograph // Orel. Publishers Orel State Agrarian Univerity. 2015. 174.

5. Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z., Kuznetsov I.S. About movement of charged particles between electrodes at electrospark machining // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2012. V. 110. P. 2. 128-134.

6. Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z., Kuznetsov I.S. Determination of velocity of charged particle drift between electrodes at electrospark machining // The world of transport and technological machines. 2012. N2. 24 – 30.

7. Kuznetsov I.S., Pavlov V.Z., Kolomeichenko A.V. Electric spark dimensioning at electrospark machining of agricultural machinery parts // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012. V. 7. N7. 13-15.

8. Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z., Kuznetsov I.S. Estimation of electric spark between electrodes at electrospark machining of parts // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2013. V. 112. N1. 75-79.

9. Kolomeichenko A.V., Pavlov V.Z., Kuznetsov I.S. Estimation of capacity of surface heat sources emerging at electrospark machining of machinery parts // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2013. V. 112. N2. 143-149.

10. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Structure of elecrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2014. V. 115. 161-166.

11. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Tribotechnical properties the electrospark coating of amorphous and nanocrystalline alloys based on iron // Friction and wear. 2014. Vol. 35. N6. 501-504.

12. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N. Investigation of thickness and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys // Welding International. 2015. Vol. 29. N10. 823-825.

13.Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N.. Investigation of thickness and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys // Welding International. 2014. N10. 36-39.

14.Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Rational time determination of electrospark machining of combine harvester header pins by electrode of amorphous ally of brand 84KXCP // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2016. V. 124. N3. 35-39.

15. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Operational test results of cutting unit parts of grain harvesting machines hardened by electrospark machining done by electrode from amorphous alloy 84KXCP // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2013. V. 111. N1. 91-95.

16. Panteleenko F.I., lyalyakin V.P., Ivanov V.P., Konstantinov V.M., Restoration of machine parts // Under the editorship of V. P. Ivanov / Moscow, 2003.

УДК 620.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОШКА ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

Елизавета Юрьевна Кудряшова, младший научный сотрудник;
Иван Алексеевич Шемберев, младший научный сотрудник, аспирант;
Роман Николаевич Задорожний, кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: laboratory8nano@yandex.ru.

Реферат. *Анализ исследовательских работ в области твердых сплавов и быстрорежущих сталей показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии содержащегося в сплавах вольфрама. Этот вопрос имеет актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением области применения вольфрама. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов и быстрорежущих сталей, их переработке. Перспективным способом переработки в порошки отходов труднопереработываемых металлических материалов, в частности твердых сплавов, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). Установлены закономерности изменения производительности и среднего размера частиц порошка от электрических параметров процесса ЭЭД. В частности показано, что изменением напряжения на электродах реактора и емкости разрядных конденсаторов можно изменять массовую производительность процесса и средний размер частиц порошка, а изменением частоты следования импульсов – количественную производительность процесса. Объектом исследования являются теоретические и экспериментальные исследования влияния условий процесса электроэрозионного диспергирования на форму, размеры и химический состав порошков, получаемых из отходов машиностроительных производств и инструментальных материалов, в том числе твердых сплавов и быстрорежущих сталей, а также рециклинг данных материалов. Работа проводилась на лабораторно-экспериментальной базе центра коллективного пользования «Нано-Центр» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», с использованием следующего оборудования: сканирующего зондового микроскопа SOLVER NEXT, эмиссионного спектрометра iCAP 6000, анализатора поверхности «AUTOSORB-1», дифрактометра XRD-6000; туннельного микроскопа УМКА-02-Е, трибометра TRB-S-DE, микротвердомера КМТ-1, пресса «EPSI» и высокотемпературной печи «Nabertherm» (изостатическое прессование и спекание) и других средств измерения.*

Ключевые слова: *электроэрозионное диспергирование, установка ЭЭД, твердосплавные пластины, частицы порошка, гранулометрический состав, удельная поверхность, частицы порошка, рентгеноструктурный анализ.*

INVESTIGATION OF GRANULOMETRIC COMPOSITION POWDER OF REINFORCED MATERIALS OBTAINED BY METHOD OF ELECTROEROZY DISPERSION

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Abstract. *Analysis of research works in the field of hard alloys and high-speed steels shows that most of them are related to the question of saving contained in alloys of tungsten. This issue is of urgent importance in connection with the deficit, high cost and continuous expansion of the scope of tungsten. Tungsten saving is closely related to the collection of waste of tungsten-containing hard alloys and high-speed steels, their processing. A promising method for processing into waste powders of hard-to-process metallic materials, in particular hard alloys, is the method of electroerosive dispersion (EED). The regularities of the change in the productivity and average particle size of the powder from the electrical parameters of the EED process are established. In particular, it is shown that by changing the voltage at the electrodes of the reactor and the capacitance of the discharge capacitors, the mass productivity of the process and the average particle size of the powder can be varied, and the change in the repetition rate of the pulses is the quantitative productivity of the process. The object of the study are theoretical and experimental studies of the influence of the conditions of the process of electroerosive dispersion on the shape, size and chemical composition of powders obtained from waste from machine-building industries and tool materials, including hard alloys and high-speed steels, and recycling of these materials. The work is carried out on the laboratory and experimental basis of the Nano Center Center of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Agroengineering Center VIM using the following equipment: the SOLVER NEXT scanning probe microscope, the iCAP 6000 emission spectrometer, the AUTOSORB-1 surface analyzer ", XRD-6000 diffractometer; the UMKA-02-E tunnel microscope, the TRB-S-DE tribometer, the KMT-1 microhardnesser, the EPSI press and the Nabertherm high-temperature furnace (isostatic pressing and sintering) and other measuring instruments.*

Keywords: *electroerosion dispersing, EED installation, carbide inserts, powder particles, particle size distribution, specific surface area, powder particles, X-ray diffraction analysis.*

Введение. Рассмотрена возможность получения металлических порошков из отходов твердых сплавов электроэрозионным диспергированием. Исследованы физико-химические свойства полученных порошков. Предложена частичная модернизация лабораторной установки, позволяющая увеличить ее производительность.

Первые исследования по применению электрической эрозии металла для получения порошков относятся к 40-ым годам прошлого столетия. В 1943 году Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко предложили использовать эффект электрической эрозии для получения высокодисперсных порошков [1]. Несмотря на достаточно высокую производительность порошкообразования, дисперсность порошка, возможности регулирования гранулометрического состава и степени охлаждения, а так же относительно невысокие энергетические затра-

ты и экологическую чистоту процесса, в отличие от других способов получения порошка из отходов твердых сплавов, способ получения металлического порошка методом электроэрозионного диспергирования не нашел широкого применения в промышленности. Это связано с недостаточной изученностью строения и свойств порошков, а также закономерностей процессов порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердых сплавов.

Цель работы – разработка практических рекомендаций по использованию отходов инструментальных материалов и машиностроительных производств в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин электро-физическими методами, а также рециклингу данных материалов.

Материалы и методы. Гранулометрические свойства порошков предполагается осуществлять на анализатор размеров частиц Microtrac Bluewave. Действие анализатора основано на дифракции Фраунгофера и на эффекте Ми для сферических частиц, кроме того в нем также используется модификация расчетов Ми для несферических материалов. Анализатор Microtrac Bluewave работает на технологии применения системы трех лазеров Bluewave, разработанной фирмой Microtrac и позволяет производить измерения методом светорассеяния, начиная от прямой области малых углов до почти полного углового спектра (приблизительно от нуля до 160 градусов). Это достигается за счет комбинации трех лазеров (одного красного и двух синих) и двух детекторных матриц, находящихся в неподвижном положении. Первый лазер, красный (осевой), производит рассеяние почти от оси приблизительно до 60 градусов, обнаруживаемое прямой матрицей и матрицей под большим углом. Обе матрицы имеют логарифмические промежутки между детекторными элементами. Второй лазер, синий (внеосевой), расположен таким образом, чтобы производить рассеяние выше уровня 60 градусов, которое обнаруживается при помощи тех же детекторных матриц. Третий лазер, синий (внеосевой), расположен таким образом, чтобы производить обратное рассеяние, снова при помощи тех же детекторных матриц. Эта технология эффективно умножает число чувствительных элементов, способных к обнаружению рассеянного света.

По мере уменьшения частиц они рассеивают свет под большими углами, но с различной интенсивностью. Сила или интенсивность рассеянного света связана обратной зависимостью с четвертой степенью длины волны падающего света ($I = 1/\lambda 4$). При уменьшении длины волны падающего света почти вдвое, с 780 нм до 405 нм, количество света, рассеиваемого одной и той же частицей, увеличивается почти в 16 раз.

В устройстве Tri-laser второй и третий лазеры направляются на пробу таким образом, чтобы обнаруживать свет, рассеиваемый меньшими частицами (при их наличии) под углами между 60 и 160 градусов. При помощи синих лазеров, находящихся в этих положениях, обнаруженные сигналы усиливаются и дают непревзойденную чувствительность и разрешение в субмикронной области. Интенсивность падающего света, исходящего от синего лазера, значительно выше, чем интенсивность такого же света, исходящего от синего светодиода, и чувствительность измерения увеличивается соответственным образом.

Гранулометрические свойства порошков исследовались на анализаторе размеров частиц Microtrac Bluewave. Действие анализатора основано на дифракции Фраунгофера и на эффекте Ми для сферических частиц, кроме

того в нем также используется модификация расчетов Ми для несферических материалов. Анализатор Microtrac Bluewave работает на технологии применения системы трех лазеров Bluewave и позволяет производить измерения методом светорассеяния, начиная от прямой области малых углов до почти полного углового спектра (приблизительно от нуля до 160 градусов).

Установлено, что порошки, полученные из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, имеют размер частиц от 3 нм до 10 мкм. Отмечено, что на гранулометрический состав порошка и средний диаметр частиц, полученных ЭЭД, наиболее существенное влияние оказывают режимы диспергирования (напряжение, емкость конденсаторов и частота следования импульсов) и свойства рабочей жидкости.

Экспериментально установлено, что с увеличением напряжения на электродах реактора и (или) емкости разрядных конденсаторов увеличивается количество более крупных частиц и уменьшается количество мелких частиц. В связи с чем, для экспериментальных исследований нами были подготовленны образцы порошков на трех режимах работы установки. Это: Образец №1 ($U_{вх}$=90 В, $U_{оп.}$=130 В, $U_{раб.}$=200 В, $\nu_{раб.}$= 40 Гц) – условно жесткий; Образец №2 ($U_{вх}$=40 В, $U_{оп.}$=65 В, $U_{раб.}$=100 В, $\nu_{раб.}$= 40 Гц) – условно мягкий и Образец №3 ($U_{вх}$=90 В, $U_{оп.}$=130 В, $U_{раб.}$=200 В, $\nu_{раб.}$= 40 Гц) – условно жесткий с использованием дополнительной вибрацией электрода и циркуляцией рабочей жидкости.

Для полного анализа получаемых образцов проведено исследование удельной поверхности порошков. Приведена методика измерения удельной поверхности частиц порошков металла. Измерение удельной поверхности осуществлялось на анализаторе удельной поверхности модели Autosorb-1, который помимо измерения площади удельной поверхности, также предназначен для измерения среднего размера пор порошкообразных образцов: катализаторов, адсорбентов, керамики и других пористых материалов.

Принцип действия анализатора основан на явлении адсорбции молекул адсорбата (азота или аргона) активной поверхностью контрольного образца из газовой фазы над ним, в результате которой наблюдается изменение давления в ячейке с образцом. При дальнейшем добавлении газа и восстановлении давления поверхность продолжает покрываться молекулами адсорбата и при полном заполнении пор его молекулами (капиллярная конденсация) наступает состояние равновесия. На основании данных по изменению давления в измерительной ячейке можно рассчитать площадь активной поверхности образца методом B.E.T. (Brunauer, Emmet, Teller) и средний радиус пор по методу B.J.H. (Darret, Joyner, Halenda).

Измеряемая величина удельной поверхности зависит от размеров сорбируемых молекул. Одно и то же вещество при сорбции крупных молекул имеет меньшую удельную поверхность, при сорбции мелких молекул имеет большую удельную поверхность. Для крупных молекул поверхность мелких пор, измеренная сорбцией мелких молекул, как бы и не существует. Поэтому, помимо такого параметра как удельная поверхность, важной характеристикой пористых тел является распределение поверхности пор по радиусам пор (распределение пор по радиусам).

Для полного анализа получаемых порошков проведен рентгеноструктурный анализ. Анализ образцов проводился по нижеследующей методике. Исследование образцов, полученных порошков проводилось на анали-

тическом рентгеновском дифрактометре XRD-6000 фирмы SHIMADZU CORPORATION, в котором осуществляется дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке вещества. Обладая трехмерной периодичностью, кристалл действует как дифракционная решетка, созданная плоскопараллельными массивами атомов, поэтому рассеянное излучение наблюдается лишь вдоль определенных направлений, определяемых формулой Вульфа-Брэгга. Вторичные волны интерферируют, усиливая интенсивность из-лучения в одних направлениях и гася его в других. Дифракционная картина зависит от взаимного расположения и рассеивающей способности атомов, которая определяется электронной плотностью и пропорциональна атомному номеру элемента. Длина волны рентгеновского излучения сопоставима с межатомными расстояниями.

Результаты исследований. В таблице 1 представлены предварительные исследования параметров размера частиц порошка, полученного ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов при различных режимах после просеивания через сита с различным размером ячейки на инвертированном металлографическом микроскопе Olympus GX-51 при увеличении x1000.

Таблица 1

Параметры размера частиц порошка полученного в воде ЭЭД отходов твердого сплава Т15К6

		Площадь (μm²)	Периметр (μm)	Диагональ (μm)
Образец 1	Количество измерений	41	41	41
	Minimum	2,68	6,26	1,37
	Maximum	13,56	15,24	3,74
	Среднее значение	5,66	9,28	2,21
Образец 2	Количество измерений	43	43	43
	Minimum	0,38	2,31	0,51
	Maximum	12,03	14,39	2,96
	Среднее значение	3,33	6,83	1,59
Образец 3	Количество измерений	71	71	71
	Minimum	0,23	1,71	0,36
	Maximum	7,94	10,80	2,83
	Среднее значение	1,68	4,72	1,07

В качестве рабочей жидкости выбрана дистиллированная вода. Количество измерений частиц порошка каждого режима составило более 40 шт. На рисунке 1 представлены результаты исследования гранулометрического состава порошков – Образца №3 на анализаторе размеров частиц Microtrac Bluewave.

Для исследования удельной поверхности и размер пор были выбраны два образца порошков, полученных методом ЭЭД с наименьшими размерами частиц. Результаты исследований представлены в сводной таблице 2. Графики исследования пористости порошков представлены на рисунках 2 и 3.

Наличие результатов исследований удельной поверхности $S_{уд}$ при необходимости позволяет осуществить расчет размеров частиц порошка (d), зная форму частиц и плотность ($c_{нас}$) диспергируемого материала:

- для частиц шаровой формы:

$S_{уд} = (1–V_{пус})\ 6/(dc_{нас})$, см²/г;

- для частиц кубической формы:

$S_{удfl} = (1–V_{пус})\ 7{,}2/(dc_{нас})$, см²/г,

где $c_{нас}$ – насыпная плотность дисперсного материала.

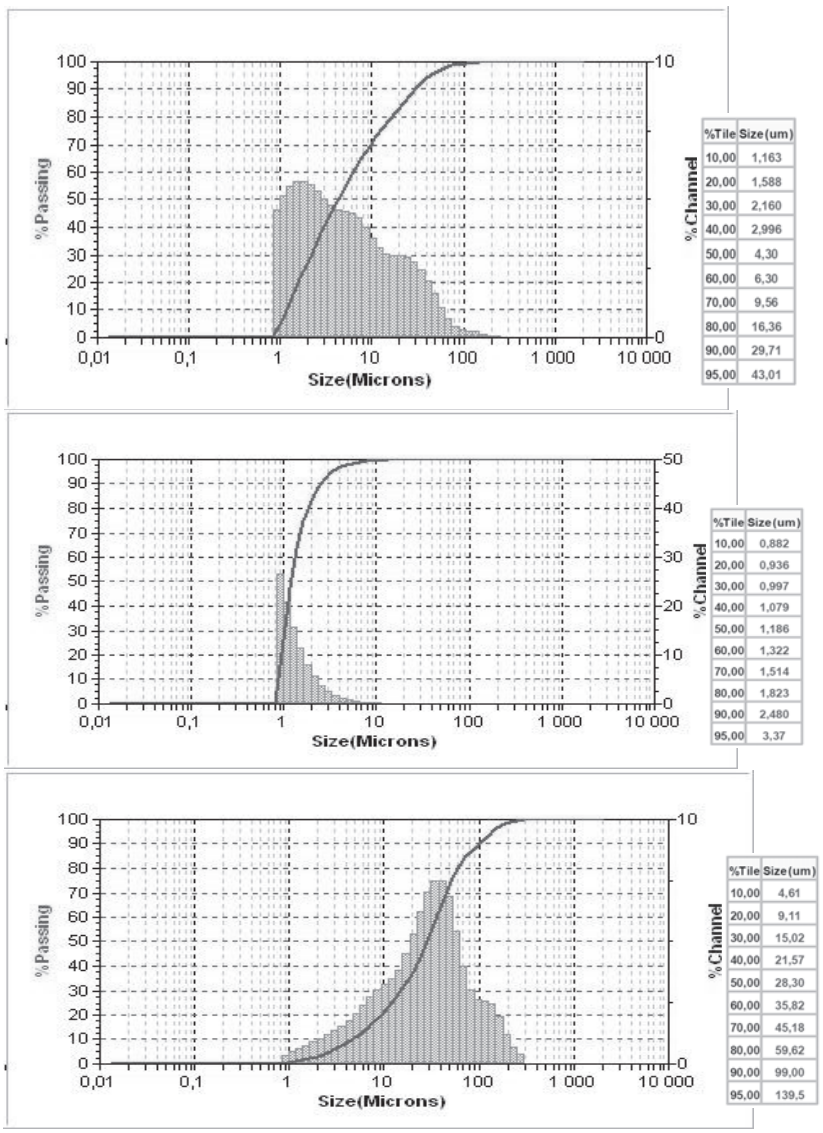


Рис. 1. Гранулометрический состав Образца №3

Таблица 2

Результаты исследования удельной поверхности и размера пор порошков

Образец	Объём поглощенного азота, см^3/г	Удельная поверхность, м^2/г	Объем пор, см^3/г		Радиус пор, А	
			Микро-(DFT)	Мезо-(BJH)	Микро-(DFT)	Мезо-(BJH)
Образец №2	73,13	61,68	0,1087	0,0990	18,49	23,67
Образец №3	76,37	72,26	0,1129	0,1019	15,49	18,58

Низкая пористость порошка объясняется протеканием процесса ЭЭД, в результате которого грани оплавляются и способствует достаточно хорошей сыпучести полученного порошка.

Элементный состав микрообъектов частиц порошка, полученного ЭЭД из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, по возбуждаемому в них характеристическому рентгеновскому излучению представлен в таблице 3 и на рисунке 6.

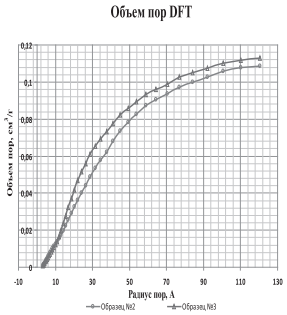


Рис. 2. Объем пор

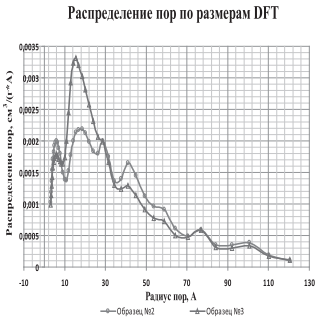


Рис. 3. Распределение пор по размерам

В таблице 4 представлены обобщенные данные по результатам исследования рентгеноспектрального микроанализа порошка, полученного ЭЭД отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов дистиллированной воде.

На спектрах (рис. 3) каждому химическому элементу соответствует пик определенной высоты. Видно, что в порошке, полученном в кислородсодержащей жидкости (воде дистиллированной) на поверхности частиц присутствует большая часть кислорода.

Также установлено, что порошки, полученные методом ЭЭД из отходов твердых сплавов, на поверхности содержат большую часть кобальта, находящегося в их составе, т.е. плакированы кобальтом. Это объясняется существенной разницей в температурах плавления тугоплавких карбидов TiC и легкоплавкого Co.

Таблица 3
Результаты рентгеноспектрального микроанализа порошков

Доли	Содержание элемента, %						
	W	Co	Ti	Ta	Fe	O	C
Массовая	74,13	2,00	7,48	–	0,45	14,18	–
Атомарная	26,23	2,21	10,16	–	0,53	57,66	–

Рис. 4. Рентгенограммы порошка из отходов твердого сплава марки Т15К6 при ЭЭД в воде

Отличительной особенностью процесса порошкообразования, протекающего при ЭЭД отходов твердых сплавов, является образование быстрозакристаллизованных порошков с очень большим диапазоном скоростей охлаждения (от 10^2 до 10^{10} °С/с), что отвечает условиям метастабильной кристаллизации с быстрым охлаждением, поэтому полученные порошки имеют искаженные кристаллические решетки. Рентгеноструктурный анализ порошков представлен в таблице 4.

Рентгеноструктурный (фазовый) порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, полученных ЭЭД, определяется природой рабочей жидкости: наличием углерода, диэлектрической проницаемостью и температурой ее кипения. Согласно источникам, ЭЭД твердого сплава в углеродсодержащей жидкости (керосине осветительном) понижает потери углерода по сравнению с диспергированием в кислородсодержащей жидкости (воде

дистиллированной) и способствует образованию фаз α-WC и β-WC. В свою очередь ЭЭД твердых сплавов в кислородсодержащей жидкости (дистиллированной воде) приводит к потере углерода и способствует образованию фаз W_2C и W.

Таблица 4

Рентгеноструктурный (фазовый) состав порошков

Сплав	Рабочая жидкость	Фаза					
		α-WC	β-WC	W_2C	W	TiC	TaC
		Тип кристаллической решетки					
		ГПУ	ГЦК	ГПУ	ОЦК	ГЦК	ГЦК
		Периоды решеток, Å					
T15K6	вода дистиллированная	–	–	a=2,9772 c=4,7207	a=3,1638	a=4,3209	–

Монокарбид вольфрама α–WC является основной составляющей большинства современных спеченных твердых сплавов, поскольку имеет высокую температуру плавления, очень большую твердость, уступая лишь твердости алмаза, высокие значения модуля упругости. Гексагональный α-WC образуется при охлаждении по перитектоидной реакции при температуре около 2755°C из β-WC и углерода.

Большая степень переохлаждения является основным фактором стабилизации высокотемпературной модификации кубической фазы *β*-WC. Последняя образуется по перитектической реакции при 2785°C (Ж + C = *β* –WC), устойчива только при температурах выше 2525°C, имеет широкую область гомогенности (более 25% (ат.)) и состав $WC_{0,61}$–$WC_{0,83}$.

Карбид W_2C при высоких температурах имеет некоторую область гомогенности, распространяющуюся в богатую вольфрамом сторону. Температура плавления этого карбида равна 2795°C.

Температура плавления TiC – 3250°C, Ti – 1660°C, W – 3410°C.

Температура кипения рабочей жидкости сказывается на температуре канала разряда. Увеличение температуры кипения вызывает рост энергии пробоя в канале разряда, а, следовательно, и рост температуры. Поэтому при ЭЭД в углеродсодержащей жидкости (керосине осветительном), имеющей большую температуру кипения по сравнению с водой, образуется также высокотемпературной фазы β-WC (2785°C).

Выводы.

1. Исследования гранулометрического состава показали, что с изменением технологических параметров работы установки, в частности, с увеличением энергии импульса средний размер частиц порошка увеличивается. Кроме того, количество паровой фазы, которая облепляет сферические частицы жидкой фазы, уменьшается. Установленные закономерности позволяют сделать вывод о том, что при ЭЭД можно управлять средним размером частиц получаемого порошка и его гранулометрическим составом с помощью энергии импульса в пределах от 3 нм до 10 мкм.

2. Установлено что, на размер частиц и производительность процесса ЭДД влияет дополнительная вибрация, подводимая к электродам.

3. Согласно полученным результатам исследований удельной поверхности, порошок, полученный из твердосплавного вольфрамосодержащего лома методом ЭЭД, обладает низкой пористостью, высокой удельной по-

верхностью, что способствует плотной укладке и высокой сыпучести и как результат высокими технологическими свойствами, может быть применен в аддитивных и наплавочных технологиях.

4. Рентгеноструктурные исследования показали, что на фазовый состав электроэрозионных порошков влияет комплекс термохимических свойств рабочих жидкостей, обеспечивающих поставку активного углерода в реакционную зону при температурах, соответствующих той или иной модификации карбидов вольфрама. Это определяет выбор рабочей жидкости для получения заданного состава порошков.

Библиографический список

1. Агеев Е.В., Гадалов В.Н., Серебровский В.И., Семенихин Б.А., Агеева Е.В., Латыпов Р.А., Гнездилова Ю.П. Исследование гранулометрического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава и используемых при восстановлении и упрочнении деталей автотракторной техники // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2010. Т. 4. N4. С. 76-79.

2. Агеев Е.В., Латыпов Р.А., Семенихин Б.А., Агеева Е.В. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография. Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. 123 с.

3. Задорожний Р.Н., Романов И.В., Шемберев И.А. Исследование свойств металлических порошков, полученных из отходов твердых сплавов электроэрозионным диспергированием // Труды ГОСНИТИ, 2018. Т. 130. С. 208-214.

4. Кожинова Е.С., Попова М.В. Нанопорошки металлов // Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический журнал, 2016. N2(5). С. 115-118.

5. Латыпов Р.А., Бурак П.И., Агеев Е.В., Латыпова Г.Р. Получение порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов и их применение в технологии восстановления и упрочнения деталей // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 114. N1. С. 162-168.

6. Латыпов Р.А., Агеев Е.В., Денисов В.А., Латыпова Г.Р. Рециклинг отходов твердых сплавов для восстановления и упрочнения изделий: монография. Курск: Из-во ЗАО «Университетская книга», 2017. 183 с.

7. Машкина М.Н. Химический состав порошка полученного электроэрозионным диспергированием из сплавов WC-Co // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике: регион. Сборник научных трудов. Курск, 2002. Вып. 4. С. 130-133.

8. Петридис А.В. Состав и свойства порошков, полученных из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) // Технология металлов. 2005. N6. С. 13-16.

9. Петридис А.В., Толкушев А.А., Агеев Е.В. Утилизация твердосплавных пластин, используемых в инструментальном производстве// Известия КурскГТУ. 2006. N2 (17). С. 70-72.

10. Чаплыгин В.Ю. Методология исследования металлических порошков полученных электроэрозионным диспергированием // Современные материалы, техника и технологии. 2016. N1(4). С. 225-231.

11. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М, Восстановление деталей машин. М.: 2003.

References

1. Ageev E.V., Gadalov V.N., Serebrovsky V.I., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnezdilov, Yu.P.Study of granulometric composition of powders produced by electroerosion dispersion of hard alloy and are used for restoration and hardening of details of automotive engineering // Vestnik of Kursk state agricultural Academy, 2010.

4. N4. 76-79.

2. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenikhin B.A., Ageeva E.V. Structure and properties of powders produced by electroerosion dispersion of waste of hard alloys: monograph. The South-West. GOS. UN-t Kursk. 2011. 123.

3. Zadorozhnii R.N., Romanov I.V., Simbirev I.A. investigation of the properties of metal powders produced from waste carbide EDM dispersion // Proceedings of GOSNITI, 2017. 130. 208-214.

4. Kozhinova E.S., Popova M.V. Nanopowders of metals // Modern materials, technics and technologies. Scientific and practical journal, 2016. N2(5). 115-118.

5. Latypov R.A., Burak P.I., Ageev E.V., Latypova G.R. The production of powders from waste tungsten-containing of hard alloys and their application in the technology of restoration and strengthening of parts // Proceedings of GOSNITI, 2014. T. 114. N1. 162-168.

6. Latypov R.A., Ageev E.V., Denisov V.A., Latypova G.R. Recycling of solid alloy wastes for recovery and hardening of products: monograph. Kursk: ZAO "University book", 2017. 183.

7. Mashkina M.N. The chemical composition of the powder obtained by electroerosive dispersion of WC-Co alloys [Text] / Mn. Mashkina // Svarka I rodstvennye tekhnologii V mashinostroenii I elektronike: region. sat nauch. Tr. Kursk, 2002. 4. 130-133.

8. Petridis A.V. Structure and properties of powders produced from waste of hard alloys a method electroerosive dispergirovanija (EED) [Text] // Technology of metals. 2005. N6. 13-16.

9. Petridis A.V. Recycling of carbide inserts used in tool production / A.V. Petridis, A.A. Tolmachev, E.V. Ageev // News KurskSTU. 2006. N2(17). 70-72.

10. Chaplygin Y.V. The methodology of the study of metal powders obtained EDM dispersion of The materials, equipment and technology. 2016 N1(4). 225-231.

11. Panteleenko F.I., lyalyakin V.P., Ivanov V.P., Konstantinov V.M., Restoration of machine parts // Under the editorship of V.P. Ivanov / Moscow, 2003.

УДК 631.3.01

МЕТОДИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ СЛОЕВ НА КЕРАМИЧЕСКИЙ БЛОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА

Елизавета Юрьевна Кудряшова, младший научный сотрудник;
Кирилл Анатольевич Постнов, инженер;
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, e-mail: gosniti8@mail.ru

Реферат. *В статье описаны ключевые этапы нанесения химических слоев различного состава на керамический сотовый блок, который является основой каталитического нейтрализатора отработавших газов дизельных двигателей. Химические слои, наносимые на блок, имеют различный состав, а так же различные температуры закрепления на сотовом блоке. При анализе методов и способов очистки отработавших газов сельскохозяйственной дизельной техники в условиях закрытых помещений наблюдается тенденция применения каталитических нейтрализаторов зарубежного производства, в каталитической основе которых используются металлы платиновой группы. Более того, предлагаемые средства обезвреживания зачастую малоэффективны в условиях ограниченного воздухообмена. При этом практически не учитывается концентрация загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое воздуха, так как эти параметры в условиях открытых пространств незначительны в силу условий работы автотракторных единиц. Актуальна разработка и использование бесплатиновых каталитических нейтрализаторов на основе оксидов металлов. Степень очистки отработавших газов увеличивается за счет комбинаций нескольких каталитически активных компонентов. Существенным моментом является снижение стоимости нейтрализаторов отработавших газов, разработанных на основе металооксидов. После прохождения через соты, вредные для окружающей среды токсичные газы в результате химических реакций окисления и восстановления становятся нетоксичными. Реакции протекают в условиях высоких температур, выхлопные газы дизельных двигателей попадают в выпускной коллектор и при температуре 400-1000°С протекают основные каталитические процессы, эффективная работа каталитической очистки возможна при температуре более 300°С. Активные вещества нейтрализатора – оксиды кобальта и меди (CoO_2, CuO), вносимые в суспензию в виде солей с добавлением оксида титана TiO_2.*

Ключевые слова: *слои, удельная поверхность, керамический блок, режим нанесения, температурный режим, закрепление слоев, каталитическая активность, эффективность.*

METHODOLOGY OF SEQUENTIAL APPLICATION OF LAYERS ON A CERAMIC BLOCK OF A CATALYTIC NEUTRALIZER

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"

Abstract. *The article describes the key stages of applying chemical layers of various compositions to the ceramic honeycomb block, which is the basis of the catalytic converter of exhaust gases of diesel engines. The chemical layers applied to the block have different composition, as well as different anchoring temperatures on the honeycomb block. When analyzing methods and methods for cleaning exhaust gases of agricultural diesel equipment in conditions of enclosed premises, there is a tendency to use catalytic converters of foreign production, in the catalytic basis of which the platinum group metals are used. Moreover, the proposed means of neutralization are often ineffective in conditions of limited air exchange. At the same time, the concentration of pollutants in the air of the working area and the surface air layer is practically not taken into account, since these parameters are insignificant in conditions of open spaces due to the operating conditions of the automotive tractor units. The development and use of platinum-free catalytic converters based on metal oxides is topical. The degree of purification of exhaust gases increases due to combinations of several catalytically active components. Essential moment is the cost reduction of exhaust gas neutralizers developed on the basis of metal oxides. After passing through the honeycomb, toxic gases harmful to the environment as a result of the chemical reactions of oxidation and reduction become non-toxic. The reactions take place under high-temperature conditions, the exhaust gases of diesel engines enter the exhaust manifold and at 400 ... 1000 °C the main catalytic processes take place, the effective work of catalytic purification is possible at a temperature of more than 300°C. The active substances of the neutralizer are oxides of cobalt and copper (CoO_2, CuO) added to the suspension in the form of salts with the addition of titanium oxide TiO_2.*

Keywords: *layers, specific surface, ceramic block, deposition regime, temperature regime, layer consolidation, catalytic activity, efficiency.*

Введение. По долгосрочным прогнозам, в обозримом будущем, дизели по прежнему будут составлять основу сельскохозяйственной техники. Однако выбрасываемые отработавшие газы (ОГ) содержат большое количество вредных веществ, которые наносят непоправимый вред здоровью человека и окружающей природной среде [1; 8].

Снижение экологического вреда, наносимого двигателями внутреннего сгорания (ДВС) является важной самостоятельной задачей. Сказанное свидетельствует о существовании противоречия между безальтернативной потребностью продолжать широкое использование ДВС для сельскохозяйственных и иных нужд (производственных, строительных, транспортных, энергетических) с одной стороны, и вредным воздействием их ОГ на человека и окружающую природную среду – с другой [6; 10].

Общепризнано, что для обеспечения соответствия дизелей действующим нормам по токсичности ОГ целесообразно использование каталитических нейтрализаторов.

Работы в этой области велись ведущими научными организациями: «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Исследования направлены на поиск путей снижения нагрузки на воздушную среду, а именно на поиски оптимальных характеристик для бесплатиновых каталитических нейтрализаторов,

применяемых на технике, работающей в условиях закрытых помещений.

Цель исследования – разработка методики формирования каталитически активного комплекса из наносимых на керамический блок химических слоев, имеющих различный состав и температурные режимы нанесения. Предметом исследования является зависимость степени очистки отработавших газов дизельных двигателей от увеличения удельной поверхности керамических блоков каталитического нейтрализатора, которая увеличивается в результате послойного нанесения различных химических составов.

Материалы и методы. Методика последовательного нанесения химических слоев на керамический блок каталитического нейтрализатора объединяет три основных процесса:

- разработка и нанесение промежуточного слоя из жидкого стекла: выявление наиболее эффективного химического состава слоя, концентрации химических веществ, способа нанесения и закрепления промежуточного слоя;
- разработка и нанесение слоя подложки из бемита: исследования наиболее приемлемого для этой функции химического состава наносимого слоя, оптимальных режимов его нанесения, режимов сушки и закрепления, выявление кратности нанесения этого слоя;
- разработка и нанесение каталитического слоя: оценка эффективности реакций обезвреживания вредных примесей, скорости протекания реакций в условиях потока газа с учетом высоких температур. Каталитический слой разрабатывается на 3-х компонентных оксидах металлов, выявляются режимы нанесения слоя, его сушки и закрепления.

При проведении научных исследований использовалась приборная база Наноцентра ВИМ. Измерение удельной поверхности, пористости блоков, размер пор и удельная поверхность слоев проводилось на анализаторе удельной поверхности AUTOSORB – 1. Принцип работы прибора заключается в измерении количества сорбированного или десорбированного газа с поверхности твердого тела статическим объемным методом. Анализ производится путем ввода или откачивания газов адсорбата из ячейки, содержащей твердый адсорбент, находящийся при температуре близкой к температуре кипения адсорбата. В качестве адсорбата используют газообразный азот. Адсорбция или десорбция производится до момента установления равновесного давления. Количество адсорбированного газа – это разность между количеством введенного и оставшегося газа. Прибор позволяет производить измерения распределения по объему, площади и размеру пор в диапазоне размеров пор от 4 до 500 нм, анализ удельной поверхности от 0,1 $м^2/г$.

Образец исследуемого материала помещается в предварительно взвешенную ячейку и ставится на станцию дегазации. Прибор позволяет производить дегазацию в диапазоне 100-300°С. Воздух в ячейке откачивается вакуумным насосом. Показатель завершенности процесса дегазации оценивается по истечению 60 секунд при средней скорости натекания давления не более 50 мкм. рт. ст/ мин. Далее в ячейку подается газ до параметров атмосферного давления. Ячейка снимается со станции дегазации и взвешивается, рассчитывается масса чистого образца (не содержащего физически связанной влаги), которая заносится в программу в качестве исходных данных.

Далее ячейка взвешивается и ставится на станцию для анализа. Вначале в ячейке создается вакуум, после чего для измерения свободного объема подается гелий. Гелий не адсорбируется на поверхности, поэтому не дает погреш-

ности в измерении объема. Затем ячейка с образцом опускается в жидкий азот и прибор начинает измерение в первой точке. В ячейку подается газообразный азот до достижения заданного давления в измеряемой точке, при этом его количество измеряется. За счет адсорбции давление в ячейке уменьшается до равновесного, после чего подается новая порция газа до достижения заданного давления. Этот процесс повторяется до тех пор, пока давление практически не перестает падать, после чего начинается измерение в следующей точке. Аналогичным образом происходит измерение десорбции [3, 4].

Поверхность каналов, структура наносимых слоев исследовалась на сканирующем зондовом микроскопе Solver Next фирмы NT – MDT. Измерение размеров частиц порошкообразных образцов проводилось на инвертированном микроскопе Olympus GX5. При проведении сканирования поверхности применялись зонды, используемые для атомно-силовой микроскопии. Данные зонды включают в себя микрочип из металла, размещенный в головке измерения.

В зондовом микроскопе Solver Next зонды, в процессе работы, зафиксированы на месте, а движение и сканирование проводится пьезоэлементом, в процессе микроскопии перемещающим исследуемый элемент.

В процессе сканирования поверхности методом контактной топографии зонд приближается к образцу, вследствие чего кантилевер отклоняется до заданного операционной системой значения в результате атомно – силового взаимодействия. В результате дальнейшего продвижения зонда по поверхности образца, за счет имеющихся неровностей, угол отклонения контилевера должен меняться, но за счет обратной связи угол остается постоянным, в результате изменяется расстояние между головкой измерения и исследуемым образцом поверхности. Изменение данного расстояния принимается за высоту в каждой точке. В процессе сканирования поверхности методом полуконтактным, производится измерения при помощи электрического импульса, который направляется на микрочип, в результате чего создаются колебания контилевера на резонансной частоте (порядок сотен кГц). В процессе сканирования таким методом производится отслеживание амплитуды колебаний в результате контакта с исследуемой поверхностью. Дальнейшие считывание информации проводится по аналогии с контактным методом [3, 5].

Результаты исследований. Исследования керамических блоков показали их низкую удельную поверхность и малую поровую структуру. Эффективность каталитических реакций при такой структуре варьируется в пределах 4-6%. В связи с этим возникает необходимость увеличения удельной поверхности блоков. В результате исследования удельной поверхности на анализаторе AUTOSORB – 1 выявлена величина удельной поверхности керамического блока. Эта величина составляет 1,122 $м^2/г$.

Поскольку в каталитическом нейтрализаторе с монолитным носителем имеет место гетерогенный катализ, для эффективности которого требуется максимально возможная поверхность контакта катализатора и реакционной смеси (в данном случае отработавших газов), то необходимо как можно больше развить поверхность используемого носителя.

Первый этап методики послойного нанесения -нанесение связующего слоя. Слой жидкого стекла предложено ввести как промежуточный перед слоями первичного покрытия подложки из бемита. Благодаря такому приему увеличивается адгезионные способности как керамической поверхности

и первичного слоя, так и первичного слоя и последующего каталитического состава. Предложено применять водный раствор жидкого стекла. Соотношение вода/клей влияет на поровую структуру и на удельную поверхность. Были проведены исследования влияния концентрации суспензии жидкого стекла.

В процессе лабораторных анализов, полученных при нанесении поверхностей, выявлено, что более концентрированные суспензии значительно снижают пористость и уменьшают удельную поверхность. Менее концентрированные суспензии достигали приемлемой удельной поверхности только при двукратном нанесении и повторном прокаливании. Из всех прочих вариантов оптимальной по своим свойствам оказалась 20%-ная водная суспензия силиката калия (рис. 1).

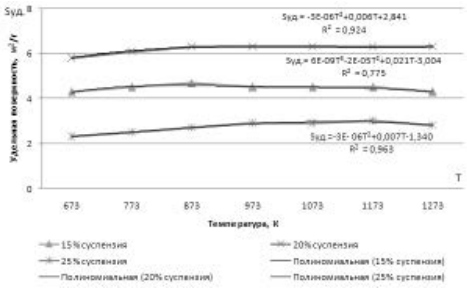


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности керамического блока от концентрации суспензии

Второй этап методики послойного нанесения – нанесение слоя подложки, увеличивающей удельную поверхность подготовленного керамического блока.

Основой слоя подложки служит бемит, синтезированый в ФГБНУ ГОСНИТИ по методу, описанному в патенте №2363659. Удельная поверхность блока, на который нанесен бемит, составляет 2,099 м^2/г. Представленные результаты сканирования образцов поверхности керамического блока доказывают образование на поверхности блоков увеличенной внутренней площади, за счет образования первичного наноструктурного слоя гидроокисла алюминия, т.е. бемита (рис. 2 и 3).

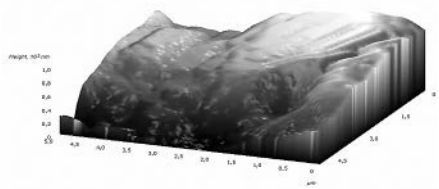


Рис. 2. Топографическое изображение керамического блока без первичного слоя (площадь сканирования 3x3x2,6 мкм)

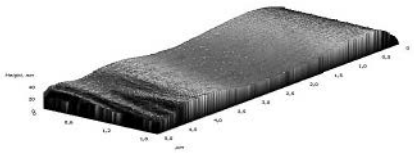


Рис. 3 Топографическое изображение керамического блока, покрытого слоем нанобемита с удельной поверхност 170,2 м^2/г (площадь сканирования 3x3x2,6 мкм)

Топографическое исследование полученных поверхностей проводилось на сканирующем зондовом микроскопе Solver Next. На рис. 2 видна нечеткая и неупорядоченная структура слоя, так как на рис. 4, четко видна упорядоченная игольчатая структура поверхности, что подтверждает более

развитую удельную поверхность.

При нанесении слоя нанокристаллической подложки из суспензии бемита на керамический блок удельная поверхность увеличивается до 2,099 $м^2/г$, а при повторном нанесении до 7,481 $м^2/г$. В результате удельная поверхность керамического блока увеличивается в 5 раз.

Третий этап методики послойного нанесения -нанесение слоя каталитического металооксидного покрытия.

Каталитическое покрытие формируется на поверхности керамического сотового блока, на который предварительно нанесен слой, увеличивающий внутреннюю поверхность, а так же увеличивающий прочность сцепления керамики и каталитического слоя.

Вместо дорогих катализаторов на основе металлов платиновой группы, включая палладий, родий, церий, широко используемых в каталитических нейтрализаторах ОГ ДВС использовались оксиды металлов: меди, кобальта, титана.

Нанесение слоя происходит методом погружения в раствор с последующим их осаждением на поверхности блочного носителя. Операция нанесения каталитического слоя повторяется несколько раз, причем после каждого нанесения производится сушка. Сушка в муфельной печи обеспечивает равномерное распределение каталитического слоя за счет так называемого термоудара (помещение керамического блока в условия высокой температуры, до 500°С, при воздействии около 20 мин.

Таким образом, формируется каталитическое покрытие. При таком процессе металооксидная пленка осаждается на первичном слое.

В результате прокаливания получен каталитически активный металооксидный слой, содержащий Cu_2O, CoO, TiO_2, обеспечивающий нейтрализацию токсичных веществ ОГ ДВС.

Металлы переменной валентности в их низшей степени Cu+1 и Co+2 участвующий в восстановлении оксидов азота (NO и NO_2) до безопасного азота N_2. Диоксид титана является сильным окислителем.

Определение активности и эффективности каталитического слоя проводилось опытным путем. Результаты опыта, представленные на рисунке 4, показали эффективность окисления СО каталитическим составом на основе оксидов металлов.

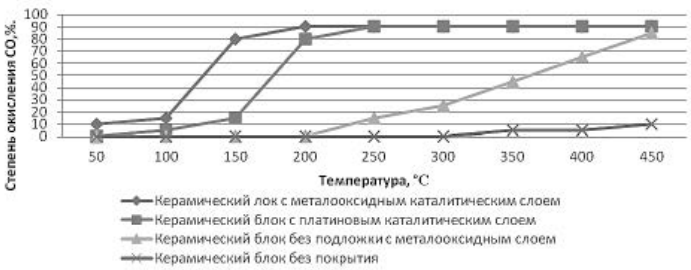


Рис. 4. Результаты исследования каталитической активности блоков с различными химическими составами

Для определения интенсивности каталитической очистки газового потока использовались фрагменты керамического блока (размер фрагментов 7,5-10,0 $см^2$) с нанесенными на него слоями. На графиках рисунка 4 представлена зависимость степени окисления угарного газа СО (концентрация

которого в воздухе выше 0,1% является смертельной) от температуры отходящих газов. Видно, что температурное окно работы катализатора по нейтрализации CO 50-250°C.

Процессы каталитических реакций начинаются при температурах от 40-50°C и достигают 90% эффективности при температуре в 150-200°C.

Выводы.

1. Разработана методика послойного нанесения химических составов. На керамический блок основу наносятся поочередно промежуточный слой жидкого стекла для упрочнения керамики и увеличения адгезионных сил. В качестве промежуточного слоя введена 20%-ная водная суспензия силиката калия. Далее слой нанокристаллического бемита для увеличения удельной поверхности, далее наносится металооксидный каталитический слой для эффективной нейтрализации загрязняющих веществ отработавших газов дизельных двигателей.

2. Увеличена удельная поверхность керамического блока. Удельная поверхности керамического блока, составляет 1,122 $м^2/г$. При дальнейшем нанесении слоя нанокристаллической подложки из суспензии бемита удельная поверхность увеличивается до 2,099 $м^2/г$, а при повторном нанесении до 7,481 $м^2/г$. В результате удельной поверхности керамического блока увеличивается в 5 раз.

3. Сформировано каталитическое покрытие, состоящее из сложного оксида кобальта и меди (CoO и Cu_2O) с добавлением оксида титана (TiO_2). Покрытие обладает свойством каталитической очистки уже при температуре газового потока в 200°C. При достижении температур величины 250…400°C и выше, очистка отработавших газов дизельных двигателей достаточно эффективна.

Библиографический список

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы.

2. Захаров Л.А. Анализ технических характеристик и тенденций развития атмосферных поршневых двигателей внутреннего сгорания // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013. Т. 102. N5. С. 287-297.

3. Информация об оборудовании наноцентра [электронный ресурс] // Официальный сайт ВИМ. – Электрон. дан. – [б. м.], 2018. URL: http://www.gosniti.ru/documents/nanocenter.pdf

4. Кондриков Н.Б. Исследования в области адсорбции, катализа и электрокатализа на углеродных материалах, оксидных и наноструктурных покрытиях на металлах / Н. Б. Кондриков [и др.] // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. N2. С. 77-83.

5. Коломейченко А.В. Исследование топографии поверхности покрытия, сформированного МДО [Электронный ресурс] // Вестник ОрелГАУ. 2011. N2. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-topografii-poverhnosti pokrytiyas-formirovannogo-mdo (дата обращения: 29.11.2017).

6. Павлов Г.И., Ситников О.Р., Накоряков П.В., Суховая Е.А. О роли керамического каталитического блока в глушении шума ДВС // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2015. Т. 3. N4. С. 63-64.

7. Подзадаева А.А. Отработавшие газы автомобилей – источники выбросов за-

грязняющих веществ // В сборнике: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства IV Международная научная экологическая конференция (с участием экологов Азербайджана, Армении, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, Киргизии, Латвии, Ливана, Молдовы, Приднестровья, России, Словакии, Узбекистана и Украины). 2015. С. 660-664.

8. Стопорева Т.А., Медведев Г.В., Новоселов А.Л. Отработавшие газы дизелей и условия безопасности труда в сельскохозяйственном производстве // Ползуновский альманах. 2011. N2. С. 107-110.

9. Чернецов Д.А. Методика экономической оценки нейтрализатора отработавших газов дизелей [электронный ресурс] / Д.А. Чернецов, Е.С. Вдовина // Современные проблемы науки и образования. 2013. N1. URL:www.science-education.ru/107-8413 (дата обращения: 17.11.2017).

10. Черноиванов В.И., Горячев С.А, Вохмяков К.К. Современные аспекты создания и развития потребительских обслуживающих кооперативов // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 119. С. 8-15.

References

1. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020.

2. Zakharov L.A. Analysis of Technical Characteristics and Development Trends of Atmospheric Piston Internal Combustion Engines / L.A. Zakharov [et al.] // Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseeva. 2013. T. 102. N5. 287-297.

3. Information on the nanocenter equipment [electronic resource] // Official site of the FBBU FNAC VIM. - Electron. Dan. - [b. m.], 2018. URL: http://www.gosniti.ru/documents/nanocenter.pdf

4. Kondrikov N.B. Studies in the field of adsorption, catalysis and electrocatalysis on carbon materials, oxide and nanostructured coatings on metals / NB Kondrikov [and others] // Vestnik of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2009. N2. 77-83.

5. Kolomeichenko A.V. Investigation of the topography of the surface of a coating formed by MDO [Electronic resource] / AV Kolomeichenko // Vestnik OrelGAU. 2011. N2. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-topografii-poverhnosti pokrytiyasformirovannogo-mdo (date of circulation: November 29, 2017).

6. Pavlov G.I, On the role of the ceramic catalytic block in the noise suppression of DVS / Pavlov G.I. Sitnikov O.R., Nakoryakov P.V., Sukhovaya E.A. // Mechanical engineering: network electronic scientific journal. 2015. Vol. 3. N4. 63-64.

7. Podzadayev A.A. Exhaust gases of cars – sources of emissions of pollutants / Perzadaeva A.A. // In the collection: Problems of reclamation of household waste, industrial and agricultural production. IV International Scientific Ecological Conference (with the participation of ecologists of Azerbaijan, Armenia, Belarus, Germany, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lebanon, Moldova, Transnistria, Russia, Slovakia, Uzbekistan and Ukraine). 2015. 660-664.

8. Stoporeva T.A. Diesel exhaust gases and labor safety conditions in agricultural production / Stoporeva T.A., Medvedev G.V., Novoselov A.L. // Polzunovsky almanac. 2011. N2. 107-110.

9. Chernetsov D.A. The method of economic evaluation of the neutralizer of exhaust gases of diesel engines [electronic resource] / D.A. Chernetsov, E.S. Vdovina // Modern problems of science and education. 2013. N1. URL: www.science-education.ru/107-8413 (date of circulation: November 17, 2017).

10. Chernoivanov V.I. Modern aspects of creation and development consumer service cooperatives / Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Vohmjakov K.K. // Proceedings of GOSNITI. 2015. T. 119. 8-15.

УДК 621.357.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ГБЦ ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-406, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Евгений Викторович Агеев, доктор технических наук,
Евгений Петрович Новиков, аспирант, Юго-Западный государственный университет, Российская Федерация, e-mail: ageev_ev@mail.ru
Вячеслав Александрович Денисов, доктор технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

С ростом объема сельскохозяйственного производства увеличивается парк дорожно-строительной, сельскохозяйственной и автомобильной техники, которая требует ремонта. Уже сегодня ремонтные предприятия не справляются с требуемыми объемами ремонта техники. Одна из причин такого положения это отсутствие высокотехнологичных процессов, способных повысить межремонтный ресурс восстанавливаемых деталей до уровня до ремонтного. Целью исследования, являлось изучение и сравнение микроструктуры и элементного состава поперечного шлифа покрытий, полученных методом газодинамического напыление с использованием стандартного порошкового материала (ПМ) и экспериментального (электроэрозионного) ПМ. Представлен процесс восстановления рабочих поверхностей, дефектной головки блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406, методом газодинамического напыления. Напыление ПМ производилось при следующих режимах установки ДИМЕТ – 404: давление воздуха – 5,0 кгс/см^2; температурный режим №3; расход порошка – 0,2 г/с. В статье также представлены исследования микроструктуры и элементного состава поперечного шлифа покрытий, полученных с использованием электроэрозионного порошкового материала и стандартного порошка марки А-20-11. Исследование проводилось с помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 200 3D». Экспериментально установлено, что основными элементами газодинамических покрытий образца со стандартным покрытием являются Al, Zn, и O, а образца с экспериментальным покрытием – Al и O. На основании этого можно сделать выводы, что метод газодинамического напыления является наиболее перспективным для восстановления рабочих поверхностей дефектных головок блоков цилиндров, а порошок, полученный методом электроэрозионного диспергирования, в своем составе не содержит цинк, что улучшает свойства покрытий при воздействии высоких температур. Данные порошковые материалы можно использовать при восстановлении широкой номенклатуры дефектных деталей автотракторной техники.

Ключевые слова: *головка блока цилиндров, дефект, электроэрозионное диспергирование, газодинамическое напыление, порошковый материал.*

RESEARCH OF COVERINGS OF RESTORED HEAD OF CYLINDERS BLOCK OF ZMZ-406 ENGINE, RECEIVED BY GAS-DYNAMIC SPRAYING

Evgeny V. Ageev, Doctor of Technical Sciences, Professor
Evgeny P. Novikov, graduate student
South-Western State University, Kursk, Kursk region, Russian Federation

With the increase in the volume of agricultural production, the park of road construction, agricultural and automotive equipment is increasing, which requires repair. Already today, repair companies do not cope with the required amounts of machinery repairs. One of the reasons for this situation is the lack of high-tech processes, that can improve the overhaul life of the parts being restored to the level before repair. The aim of the research was to study and compare the microstructure and elemental composition of the cross-section of coatings, obtained by gas-dynamic spraying, using a standard powder material (PM) and an experimental (electroerosive) PM. The restoration process of the working surfaces of the defective head of cylinders block of the engine ZMZ-406, by the method of gas-dynamic spraying is presented. The PM was sprayed under the following DIMET-404 installation conditions: air pressure 5.0 kgf / cm2; temperature regime №3; the powder consumption is 0.2 g/s. The paper also presents studies of the microstructure and elemental composition of the cross-section of coatings, obtained using an electroerosive powder material and a standard powder of grade A-20-11. The study was carried out with the help of an energy-dispersive X-ray analyzer from EDAX, embedded in a scanning electron microscope "QUANTA 200 3D". It has been experimentally established that the main elements of the gas-dynamic coatings of a sample with a standard coating are Al, Zn, and O, and the sample with the experimental coating is Al and O. On the basis of this, it can be concluded that the method of gas-dynamic spraying is the most promising for restoring the working surfaces of defective heads of cylinder blocks, and the powder obtained by the electro-erosive dispersion method does not contain zinc in its composition, which improves the properties of coatings when exposed to high temperatures. These powder materials can be used to restore a wide range of defective parts of automotive tractor equipment.

Keywords: *head of cylinder block, defect, electroerosive dispersion, gas-dynamic spraying, powder material.*

Введение. С ростом объема сельскохозяйственного производства увеличивается парк дорожно-строительной, сельскохозяйственной и автомобильной техники, которая требует ремонта. Уже сегодня ремонтные предприятия не справляются с требуемыми объемами ремонта техники. Одна из причин такого положения это отсутствие высокотехнологичных процессов, способных повысить межремонтный ресурс восстанавливаемых деталей до уровня до ремонтного [1-3]. Особенно остро стоит вопрос ремонта и восстановления двигателей автотракторной техники, в том числе и головки блока цилиндров (ГБЦ).

Необходимость ремонта ГБЦ возникает по целому ряду причин – от естественного износа деталей ГРМ до разрушения корпуса ГБЦ вследствие нарушения условий эксплуатации двигателя. Восстановление ГБЦ – один

из самых трудоемких процессов. Чтобы в этом убедиться, достаточно посмотреть прайс-лист любой мастерской, профессионально занимающейся ремонтом деталей двигателя – только перечень возможных операций по восстановлению деталей ГРМ едва ли уместится на одном печатном листе. Другими словами, ремонтные технологии, в частности, ремонт ГБЦ – задача очень сложная и трудоемкая. С одной стороны необходимо любую технологию превратить в универсальную, чтобы по возможности упростить процесс восстановления и не увеличивать станочный парк и штат сотрудников, а с другой стороны сохранить качество обработки и учесть все требования завода изготовителя по ремонту деталей. Значит, ремонтное оборудование должно в первую очередь отвечать двум важнейшим требованиям: универсальность (быстрая переналадка, высокая производительность) и точность.

Восстановление дефектных деталей позволяет значительно снизить затраты на ремонт автотракторной техники и повысить надежность восстановленных деталей. Опыт передовых предприятий показывает, что восстановление дефектных деталей современными прогрессивными технологиями позволяет значительно сократить простои техники, увеличить межремонтный срок службы, уменьшить расход запасных частей [4-8].

Цель исследований – это изучение и сравнение микроструктуры и элементного состава поперечного шлифа покрытий, полученных методом газодинамического напыление с использованием стандартного порошкового материала (ПМ) и экспериментального (электроэрозионного) ПМ.

Материалы и методы. +Методом растровой электронной микроскопии было проведено исследование микроструктуры образцов (по поперечному шлифу). Поверхность по шлифу образцов шлифовали и полировали. Шлифование производили металлографической бумагой с крупным (№№ 60-70) и мелким зерном (№№ 220-240). В процессе шлифования образец периодически поворачивали на 90°. Смывали частицы абразива водой и подвергали полированию на круге суспензиями из оксидов металла (Fe_3O_4, Cr_2O_3, Al_2O_3). После достижения зеркального блеска, поверхность шлифа промывали водой, спиртом и просушивали фильтровальной бумагой.

С помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 200 3D», были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках образца и по поперечному шлифу.

Под рентгеноспектральным микроанализом понимают определение элементного состава микрообъектов по возбуждаемому в них характеристическому рентгеновскому излучению. Для анализа характеристического спектра в рентгеноспектральном микроанализе (РСМА) используют два типа спектрометров (бескристалльный либо с кристаллом-анализатором), базой для РСМА служит электронно-оптическая система растрового электронного микроскопа.

При взаимодействии электронного зонда с образцом одним из возбуждаемых сигналов является рентгеновское излучение, которое можно разделить на: характеристическое и тормозное.

Тормозное рентгеновское излучение возникает вследствие торможения первичных электронов в электрическом (кулоновском) поле атомов анализируемого материала. Кинетическая энергия первичных электронов в этом случае частично или полностью преобразуется в энергию рентгеновского

излучения. Соответственно излучение имеет непрерывный спектр с энергией от нуля до энергии падающего электрона и поэтому его еще называют непрерывным рентгеновским излучением. При рентгеноспектральном микроанализе тормозное излучение нежелательно, так как вносит основной вклад в увеличение уровня фона и не может быть исключено.

При проникновении первичных электронов в образец они тормозятся не только электрическим полем атомов, но и непосредственным столкновением с электронами атомов материала. В результате этого первичные электроны могут выбивать электроны с внутренних K-, L-, или M-оболочек, оставляя атом образца в энергетически возбужденном состоянии. Образующие вакансии заполняются переходами электронов с более высоких энергетических уровней. Атом переходит в основное состояние, избыточная энергия выделяется в виде кванта рентгеновского излучения. Поскольку энергия возникающего кванта зависит только от энергии участвующих в процессе электронных уровней, а они являются характерными для каждого элемента, возникает характеристическое рентгеновское излучение. Так каждый атом имеет вполне определенное конечное число уровней, между которыми возможны переходы только определенного типа, характеристическое рентгеновское излучение дает дискретный линейчатый спектр.

Рентгеноспектральным микроанализом не удается определить в составе сплава легкие элементы с порядковым номером меньше 4. Возникают такие трудности и с выявлением элементов, когда на линии K-серии одного элемента накладываются линии L- или M-серии другого элемента. Важной характеристикой РСМА является его локальность, т.е. объем вещества, в котором возбуждается характеристическое рентгеновское излучение. Он определяется в первую очередь диаметром электронного зонда на образце и зависит от ускоряющего напряжения и химического состава материала.

Анализ распределения элементов может быть выполнен в качественном, полуколичественном и количественном виде. Качественный анализ определяет тип элементов, входящих в состав исследуемого участка образца. Если образец имеет несколько фаз (участков), химический состав которых неизвестен, то выполняется качественный анализ каждой фазы. Качественный анализ обычно используется для определения характера распределения элементов по площади шлифа. После качественного анализа часто проводят количественный анализ в отдельно выбранных точках, по полученным данным программное обеспечение позволяет определить тип фазы, исходя из ее химического состава. Полуколичественный анализ реализуется, если требуется определить распределение элементов вдоль линий (линейный анализ). Линейный анализ выполняется методом шагового сканирования, т.е. путем последовательного проведения анализа в отдельных точках. Таким образом, осуществляется количественное определение концентрации элементов с заданной точностью. Точкам на рисунке соответствуют спектры характеристического рентгеновского излучения. На спектре каждому химическому элементу соответствует пик определенной высоты. Детектирование отражённых электронов. Некоторые модели микроскопов оснащены высокочувствительным полупроводниковым детектором обратно-рассеянных электронов. Детектор смонтирован на нижней поверхности объективной линзы либо вводится на специальном стержне под полюсной наконечник. Это позволяет путем выбора режима из меню получить изображения топографии поверхности, изображение в композиционном контрасте или в темном поле. При попадании электронного пуч-

ка на образец некоторые электроны могут вылетать с поверхности образца в результате их взаимодействия с кристаллической решеткой образца. На флуоресцентном экране или ПЗС матрице обратно рассеянные электроны создают картину, которая называется картиной 9 обратного рассеяния электронов или линиями Кикучи. Дифракция обратно рассеянных электронов позволяет получать информацию о текстуре и ориентации зёрен кристаллических образцов, проводить картографирование ориентаций кристаллической решётки (т.е. распределение ориентаций по образцу). Дифракция обратно рассеянных электронов позволяет также проводить анализ дефектов микроструктуры, позволяет осуществлять анализ фаз, из которых состоит твердое тело, выделять зерна и определять их границы, проводить анализ однородности вещества, проводить анализ микродеформаций и микронапряжений. При необходимости такой анализ возможен в сопоставлении с изображениями во вторичных и отраженных электронах, в характеристическом рентгеновском излучении (интересующих элементов состава) тех же участков образца.

Одним из перспективных способов получения ПМ, для восстановления дефектных ГБЦ автотракторной техники, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов алюминия, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [9-13].

Для получения алюминиевого ПМ методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку ГОСТ 14838-78, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой [14-16]. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 140 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц порошка.

Напыление ПМ производилось при следующих режимах установки ДИМЕТ – 404:

– давление воздуха (по манометру на МПВ-К на стойке) – 5,0 кгс/см^2;

– температурный режим №3 (положение переключателя «температурный режим»;

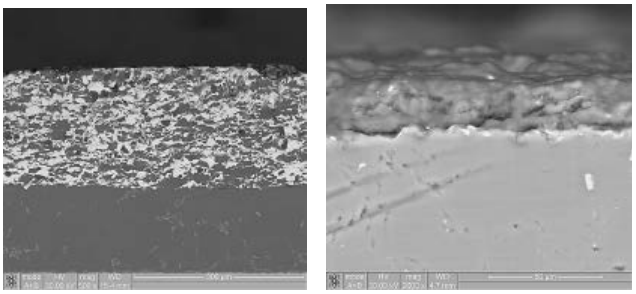
– расход порошка – 0,2 г/с.

В результате чего было получено два образца:

– образец со стандартным ПМ был получен на поверхности ГБЦ автомобильного двигателя ЗМЗ–406 методом газодинамического напыление с использование стандартного порошка марки А-20-11.

– образец с экспериментальным покрытием был получен на поверхности ГБЦ автомобильного двигателя ЗМЗ- 406 методом газодинамического напыление с использование алюминиевого электроэрозионного порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования при следующих параметрах установки: ёмкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 140 Гц.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования микроструктуры и элементного состава поперечного шлифа полученных покрытий, полученные на энерго-дисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 200 3D» представлены ниже на рисунках 1-3 и в таблицах 1-2.



а) *б)*

Рис. 1. Микроструктура образцов (BSE – режим обратно-рассеянных электронов): а) покрытие со стандартным ПМ; б) покрытие с экспериментальным ПМ

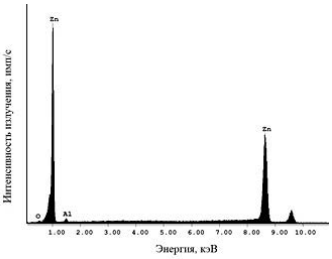


Рис. 2. РСМА образца со стандартным покрытием

Таблица 1

РСМА образца со стандартным покрытием

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
O	1,02	3,91
Al	2,65	6,01
Zn	96,32	90,08
Итого	100	100

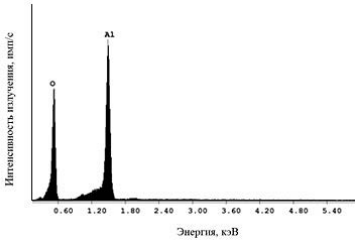


Рис. 3. РСМА образца с экспериментальным покрытием

Таблица 2

РСМА образца с экспериментальным покрытием

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
O	59,78	71,48
Al	40,22	28,52
Итого	100	100

Выводы. На основании этого можно сделать выводы, что метод газодинамического напыления является наиболее перспективным для восстановления рабочих поверхностей дефектных головок блоков цилиндров, а порошок, полученный методом электроэрозионного диспергирования, в своем составе не содержит цинк, что улучшает свойства покрытий при воздействии высоких температур. Также представлены сравнительные характеристики микроструктуры и элементного состава поперечного шлифа покрытий, полученных с использованием электроэрозионного порошка и стандартного порошка марки А-20-11. Установлено что основными элементами газодинамических покрытий образца со стандартным покрытием являются Al, Zn, и O, а образца с экспериментальным покрытием – Al и O. Данные порошковые материалы можно использовать при восстановлении широкой номенклатуры дефектных деталей автотракторной техники.

Библиографический список

1. Логинов П.К., Ретюнский О.Ю. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей [Текст]: учебное пособие / П.К. Логинов, – Томск: Томский политехнический университет, 2010. 217 с.

2. Новиков А.Н., Стратулат М.П., Севостьянов А.Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей: учебное пособие. Орел: ОрелГТУ, 2006. 332 с.

3. Новиков А.Н. Восстановление и упрочнение деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, электрохимическими способами автомобилей [Текст]: учебное пособие / А.Н. Новиков, Н.В. Бакаева. Орел: ОрелГТУ, 2004. 171 с.

4. Новиков А.Н., Катунин А.А., Тебекин М.Д. Современные способы стендовых испытаний шаровых шарниров // Мир транспорта и технологических машин. 2010. N4 (31). С. 27-34.

5. Новиков А.Н., Катунин А.В., Кулев М.В., Пешехонов А.А. Сравнение систем определения местоположения и их применение в интеллектуальных транспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. 2013. N2 (41). С. 109-113.

6. Пузанков А.Г. Автомобили: Устройство автотранспортных средств М.: Академия, 2012. 560 с.

7. Ли Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие // Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. 379 с.

8. Алхимов А.П. Холодное газодинамическое напыление: теория и практика / А.П. Алхимов, С.В. Клинков. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 536 с.

9. Новиков Е.П., Осьминина А.С. Восстановление дефектных головок блоков цилиндров автомобильных двигателей с применением алюминиевых электроэрозионных материалов // Молодежь и системная модернизация страны: сб. науч. статей Международная научно-техническая конференция студентов и молодых ученых (Т. 2). Курск: ЮЗГУ. 2016. С. 239-243.

10. Новиков Е.П., Латыпова Г.Р., Агеева Е.В. Подготовка корпусных дефектных деталей к восстановлению наплавкой и напылением с использованием алюминиевых электроэрозионных материалов // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2016): Сборник VIII Международной научно-технической конференции. Курск: ЮЗГУ. 2016. С. 255-259.

11. Ageeva E.V. Properties and characterizations of powders produced from waste carbides [Text] / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, A.S. Osminina // Журнал нано- и электронной физики. 2013. Т. 5. N4. С. 04038-1-04038-2.

12. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2014. N5. С. 50-53.

13. Агеев Е.В., Новиков Е.П Восстановление головок блоков цилиндров двигателей автотракторной техники алюминиевыми электроэрозионными материалами // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. Ч. 2. С. 20-27.

14. Агеев Е.В., Новиков Е.П., Емельянов И.П. Совершенствование технологии восстановления головок блока цилиндров путем применения порошковых электроэрозионных материалов // Мир транспорта и технологических машин. 2016. N4 (55). С. 33-39.

15. Агеев Е.В., Щербаков А.В., Новиков Е.П. Применение алюминиевых электроэрозионных материалов для газодинамического напыления дефектных автомобильных деталей // Монография, Курск. 2017. 166 с.

16. Пат. 2612117 РФ. Российская Федерация, МПК B22F 9/14, C22B 7/00, C22B 21/00, B82Y 30/00 .Способ получения алюминиевого нанопорошка / Агеев Е. В., Новиков Е.П., Агеева Е.В. // заявитель и патентообладатель Юго-Зап. гос. ун-т. N2015144702; заявл. 19.10.2015; опубл. 02.03.2017, Бюл. N17.

17. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники // Москва, Росинформагротех. 1995. 296 с.

References

1. Loginov P.K. Methods and technological processes for the recovery of worn parts [Text]: Textbook / P.K. Loginov, O.Yu. Retune. - Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2010. 217.

2. Novikov A.N. Restoration and hardening of car parts [Text]: Textbook / A.N. Novikov, M.P. Stratulat, A.L. Sevostyanov. - Eagle: Orel State Technical University, 2006. 332.

3. Novikov A.N. Restoration and hardening of machine parts made of aluminum alloys, electrochemical methods of cars [Text]: manual / A.N. Novikov, N.V. Bakaev. - Eagle: Orel State Technical University, 2004. 171.

4. Novikov A.N. Modern methods of bench testing of ball joints [Text] / A.N. Novikov, A.A. Katunin, M.D. Tebekin // The world of transport and technological machines. 2010. N4 (31). 27-34.

5. Novikov A.N. Comparison of positioning systems and their application in intelligent transport systems [Text] / A.N. Novikov, A.A. Katunin, A.V. Kulev, M.V. Peshekhonov // The world of transport and technological machines. 2013. N2 (41). 109-113.

6. Puzankov A.G. Automobiles: Construction of motor vehicles [Text] / A.G. Puzankov. - Moscow: Academy, 2012. 560.

7. Li R.I. Technologies of restoration and hardening of parts of automotive engineering: Textbook. allowance / R.I. Lee // - Lipetsk: LSTU Publishing House, 2014. 379.

8. Alkhimov A.P. Cold gas-dynamic spraying: theory and practice [Text] / A.P. Alkhimov, S.V. Blades. Moscow: FIZMATLIT, 2010. 536.

9. Novikov E.P. Recovering defective heads of cylinder blocks of automobile engines using aluminum electroerosive materials [Text] / E.P. Novikov, A.S. / Youth and system modernization of the country: Sat. sci. articles Int. sci. Conf. students and young scientists in 2 volumes (Volume 2). - Kursk: YuSGU. 2016. 239-243.

10. Novikov E.P. Preparation of hull defective parts for restoration by surfacing and spraying using aluminum electroerosive materials [Text] / E.P. Novikov, G.R. Latypova, E.V. Ageeva // Modern automotive materials and technologies (SAMIT-2016): Sat. Articles VIII Int. scientific-techn. Conf. - Kursk: YuSGU. 2016. 255-259.

11. Ageeva E.V. The properties and characterizations of the powders produced from waste carbides [Text] / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, A.S. Osminina // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2013. T. 5. N4. 04038-1-04038-2.

12 Ageev E.V. Obtaining and research of solid carbide blanks from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-bearing wastes [Text] / E.V. Ageev, RA Latypov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Non-ferrous metallurgy. 2014. N5. 50-53.

13. Ageev EV Restoration of heads of cylinder blocks of engines of autotractor

technology by aluminum electroerosive materials [Text] / E.B. Ageev, E.P. Novikov // Proceedings of GOSNITI. 2016. T. 124. Part 2. 20-27.

14. Ageev E.V. Improving the technology of cylinder heads restoration by using powder electroerosion materials [Text] / E.V. Ageev, E.P. Novikov, I.P. Emelyanov // The world of transport and technological machines. 2016. N4(55). 33-39.

15. Ageev E.V. Application of aluminum electroerosion materials for gas-dynamic spraying of defective automotive parts / E.V. Ageev, A.V. Shcherbakov, E.P. Novikov // Monograph, Kursk, 2017. 166.

16. Pat. 2612117 RF. Russian Federation, IPC B22F 9/14, C22B 7/00, C22B 21/00, B82Y 30/00. Method for obtaining aluminum nanopowder [Text] / Ageev E.V., Novikov E.P., Ageeva E.V. // The applicant and the patent holder of the South-West. state. un-t. - N2015144702; claimed. 10/19/2015; publ. 03/02/2017, Byul. N17.

17. Batischev A.N., Golubev I.G., Lyalyakin V.P. Restoration of agricultural machinery parts // Moscow, Rosinformagrotekh. 1995. 296.

УДК 631.312.021.3

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Анатолий Тимофеевич Лебедев, доктор технических наук;
Антон Викторович Захарин, кандидат технических наук, доцент;
Павел Анатольевич Лебедев, кандидат технических наук, доцент;
Роман Владимирович Павлюк, кандидат технических наук, доцент;
Николай Александрович Марьин, кандидат технических наук;
Ставропольский государственный аграрный университет,
г. Ставрополь, Российская Федерация, t707oa@rambler.ru;
Алексей Алексеевич Соломашкин, ведущий специалист,
Москва, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Реферат. *При выполнении технологических операций дизельная техника работает до 90 процентов общего времени на не установившихся режимах. Колебательные нагрузки приводят к изменению параметров работы топливной аппаратуры. Неисправность топливной аппаратуры приводит к увеличению расхода топлива и токсичности отработавших газов. Основной причиной отказов топливной аппаратуры является изнашивание плунжерных пар. При неудовлетворительном состоянии плунжерных пар неравномерность подачи топлива по секциям достигает до 63 процентов. Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя выше 10 процентов приводит к увеличению общего расхода топлива. Работоспособность топливного насоса обеспечивается цикловой подачей плунжерных пар. В свою очередь значительное влияние на цикловую подачу топлива оказывает зазор между плунжером и втулкой. Величина зазора в плунжерной паре оценивается гидравлической плотностью и предусматривает их деление на группы плотности. При исследовании гидравлической плотности выпускаемых плунжерных пар было установлено, что 86 процентов имеют повышенный зазор. Нанесение тонкопленочного покрытия на рабочие поверхности плунжерных пар позволило уменьшить имеющийся зазор. Были проведены стендовые исследования цикловой подачи выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар. В результате исследования было установлено, что при частоте вращения кулачкового вала в диапазоне 200-1000 мин-1 , уменьшение подачи выпускаемых плунжерных пар достигало до 53 процентов, при неравномерности подачи по секциям до 36 процентов. У экспериментальных плунжерных пар снижение подачи топлива достигало до 37 процентов, а неравномерность топливоподачи не превышала 5 процентов . Получена модель формирования постепенного отказа выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар. Износостойкость прецизионных деталей имеющих тонкопленочное покрытие в 2,25-2,4 раза больше.*

Ключевые слова: *ресурс, рабочие поверхности, износостойкость, расход топлива, износ.*

IMPROVING THE RESOURCE PLUNGER PAIRS OF DIESEL ENGINES

Lebedev Anatoly Timofeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department "Technical service, standardization and metrology"
Zakharin Anton Viktorovich, candidate of technical sciences, associate professor, Assistant Professor of the Department "Technical Service, Standardization and Metrology"
Lebedev Pavel Anatolyevich, candidate of technical sciences, associate professor, Assistant Professor of the Department "Technical Service, Standardization and Metrology"
Pavlyuk Roman Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, Assistant Professor of the Department "Technical Service, Standardization and Metrology"
Marin Nikolay Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, art. Teacher, of the department "Technical service, standardization and metrology
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, Stavropol,

Abstract. *When performing technological operations diesel equipment operates up to 90% of the time not steady state. Vibrational loads cause changes in the operating parameters of the fuel equipment. Fuel system malfunction leading to increased fuel consumption and exhaust toxicity. The main reason for the failure of the fuel equipment is the wear of the plunger. When an unsatisfactory condition of the plunger uneven fuel supply sections up to 63%. Uneven fuel delivery to engine cylinders is above 10% leads to an increase in total fuel consumption. Performance fuel pump is ensured by the cyclic supply of the plunger. In turn, a significant influence on the cyclic supply of fuel is having a clearance between the plunger and the bushing. The clearance in the plunger pair is evaluated hydraulic density and provides for their division into groups density. In the study of hydraulic density produced by the plunger it was found that 86% have an increased gap. The application of thin film coatings on the working surfaces of the plunger allowed to reduce the existing gap. Were conducted bench research is the cyclic flow produced and the experimental plunger. The study found that when the frequency of rotation of the Cam shaft in the range of 200...1000 min-1 , feed rate reduction produced by the plunger has reached to 53%, and non-uniformity of flow in sections of up to 36 %. From the pilot piston steam reducing fuel supply has reached to 37%, and the unevenness of the fuel does not exceed 5%. The obtained model of formation of the phase-produced and experimental plunger. Wear precision parts having a thin-film coating 2.25...2.4 times more.*
Keywords: *resource, work surfaces, wear, fuel consumption, wear.*

Введение. В современных экономических условиях перед сельскохозяйственными предприятиями стоят задачи производства высококачественной продукции и снижение ее себестоимости. При этом в структуре производственных затрат наибольшую долю (25-30%) занимают затраты на топливо, снижение которых позволит уменьшить себестоимость производимой продукции.

Специфика выполнения разнообразных сельскохозяйственных операций машинно-тракторными агрегатами (МТА) характеризуется тем, что до 90%

общего времени энергосредства этих МТА, как правило дизельные, работают на неустановившихся режимах.

Колебания нагрузки, вызванные постоянной вариацией тягового и общего сопротивления МТА, приводят к изменению параметров работы двигателя, в том числе и процесса топливоподачи, которые определяются величиной цикловой подачи топливных насосов высокого давления (ТНВД).

Показатели эффективности использования дизельных энергосредств в значительной степени определяются работоспособностью и уровнем эксплуатационной надежности топливной аппаратуры. В процессе эксплуатации со временем возникают неисправности, приводящие к снижению мощности, а так же увеличению расхода топлива, токсичности и дымности отработавших газов. В большинстве случаев это обусловлено неисправностями ТНВД, в основном из-за изнашивания плунжерных пар.

Основной причиной отказов системы питания дизельных двигателей являются ТНВД – 60%. Высокая доля отказов ТНВД связана с изнашиванием плунжерных пар, ресурс которых составляет 1-4 тыс. мото-ч.

При изнашивании плунжерных пар возрастает неравномерность подачи топлива. При пуске двигателя неравномерность подачи может достигать до 63%, что объясняется низкими оборотами, малым ходом плунжера, быстрым перетеканием топлива в зазор плунжерной пары и др. Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя выше 10% выводит за допустимые техническими условиями значения удельных расходов топлива. В процессе эксплуатации МТА показатели рабочего цикла и основные параметры двигателей в значительной мере зависят от режимов работы. Неудовлетворительное техническое состояние топливной аппаратуры, изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя, разворотах и остановках МТА, приводят к ухудшению топливной экономичности, повышению дымности и токсичности отработавших газов.

Работоспособность ТНВД определяется стабильной подачей топлива, при различных режимах работы дизеля, которые обеспечиваются цикловой подачей плунжерных пар. В свою очередь значительное влияние на цикловую подачу топлива оказывает зазор между плунжером и втулкой. В процессе эксплуатации дизельных энергосредств на выполнении различных сельскохозяйственных операций режимы работы топливного насоса сопровождаются колебаниями частоты вращения кулачкового вала, зависящими от длины гона, рельефа почвы, скорости движения МТА и т.д. При работе ТНВД на номинальных режимах, величина зазора между плунжером и втулкой не оказывает существенного влияния на параметры топливоподачи из-за высокой скорости перемещения плунжера во втулке.

Материалы и методы. Повышение эффективности эксплуатации дизельной техники в первую очередь связано не только с повышением надежности ее основных узлов, агрегатов, соединений и деталей, но и со снижением затрат и расхода топлива при выполнении производственных процессов [1, 2]. Снижение затрат на топливо может быть обеспечено многими способами, в том числе и различного рода ремонтно-восстановительными методами. Разработанный способ восстановления прецизионных деталей, обеспечивает повышение ресурса и снижение расхода топлива при работе плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) [3]. Но данный способ увеличения долговечности прецизионных деталей целесообразно приме-

нять в период ремонта топливной аппаратуры.

Вместе с тем опыт эксплуатации показывает, что значительную долю эксплуатационного времени техника загружена не полностью, зачастую до 40-50% [4]. Возникающие при этом переходные и неустановившиеся режимы, а также конструктивные особенности топливной аппаратуры дизельной техники отечественного производства приводят к перерасходу топлива и значительному увеличению неравномерности топливоподачи по цилиндрам двигателя до 26-38% [5, 6]. Вместе с этим увеличивается и интенсивность изнашивания основных деталей топливной аппаратуры, в первую очередь прецизионных. Поэтому исследования направленные на улучшение физико-механических и триботехнических свойств поверхностных слоев прецизионных деталей топливной аппаратуры, которые обеспечивают повышение эффективности работы дизельной техники, представляют практический интерес и являются актуальными.

Неполная загрузка двигателей и промежуточные режимы работы, которые отличаются от номинальных, приводят к снижению скорости движения плунжера ТНВД и увеличивают интенсивность перетекания топлива в кольцевой зазор.

Конструктивная величина зазора в плунжерной паре оценивается гидравлической плотностью и предусматривает их деление на группы плотности. Проведенный анализ технического состояния плунжерных пар, поступающих в качестве запасных частей по показателю гидроплотности, показал, что имеется достаточный резерв повышения эффективности топливной аппаратуры дизельной техники.

Исследования гидравлической плотности производили на выпускаемых, поступающих в качестве запасных частей, и экспериментальных плунжерных парах. Экспериментальные детали подвергались обработке на установке УФПУ-111 лаборатории учебного научно-производственного центра «Восстановление и упрочнение деталей машин» кафедры технического сервиса, стандартизации и метрологии СтГАУ. Результаты анализа представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Значения дифференциальной и интегральной функций выпускаемых плунжерных пар

t	40,1…41,5	41,5…42,9	42,9…44,3	44,3…45,7	45,7…47,1	47,1…48,5	48,5…49,9
m_i	11	15	10	7	2	3	2
P_i	0,22	0,30	0,20	0,14	0,04	0,06	0,04
$\sum P_i$	0,22	0,52	0,72	0,86	0,9	0,96	1
$f(t)$	0,25	0,28	0,21	0,13	0,07	0,03	0,02
$F(t)$	0,23	0,52	0,73	0,86	0,93	0,96	0,99

Таблица 2

Значения дифференциальной и интегральной функций экспериментальных плунжерных пар

t	45,8…46,5	46,5…47,2	47,2…47,9	47,9…48,6	48,6…49,3	49,6…50,0
m_i	10	16	11	7	3	1
P_i	0,2	0,32	0,22	0,14	0,06	0,02
$\sum P_i$	0,2	0,52	0,74	0,88	0,94	0,96
$f(t)$	0,23	0,3	0,24	0,14	0,06	0,03
$F(t)$	0,21	0,5	0,74	0,88	0,94	0,98

Из рисунка 1 видно, что 86% исследованных выпускаемые плунжерных пар имеют гидравлическую плотность не превышающих t =45,7 с, при среднем значении 43,4 с и среднем квадратическом отклонении σ = 2,29 с. Такое распределение деталей свидетельствует о возможности повышения ресурса и обеспечения стабильности топливоподачи на всех режимах работы за счет увеличения гидроплотности плунжерных пар и смещения центра распределения к верхнему пределу в группе. После нанесения тонкопленочного покрытия на рабочие поверхности новых плунжерных пар распределение гидравлической плотности изменилось таким образом, что 82% экспериментальных плунжерных пар (рис. 1) имеют гидравлическую плотность, превышающую t =45,7 с со средним значением =46,7 с при среднем квадратическом отклонении σ = 1,05с.

Анализ распределения гидравлической плотности выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар показывает, что все плунжерные пары, имеющие тонкопленочное покрытие имеют гидравлическую плотность более t=45,1 с. При этом только 18% экспериментальных плунжерных пар имеют гидроплотность менее t=45,7 с, тогда как 86% новых пар имеют этот показатель до этого значения. Данные полученные в ходе эксперимента свидетельствуют о повышенном зазоре между плунжером и втулкой у новых деталей, поступающих в качестве запасных частей. После формирования тонкопленочного покрытия на рабочих поверхностях новых плунжерных пар наблюдается увеличение гидравлической плотности, что говорит об уменьшении начального зазора в плунжерных парах.

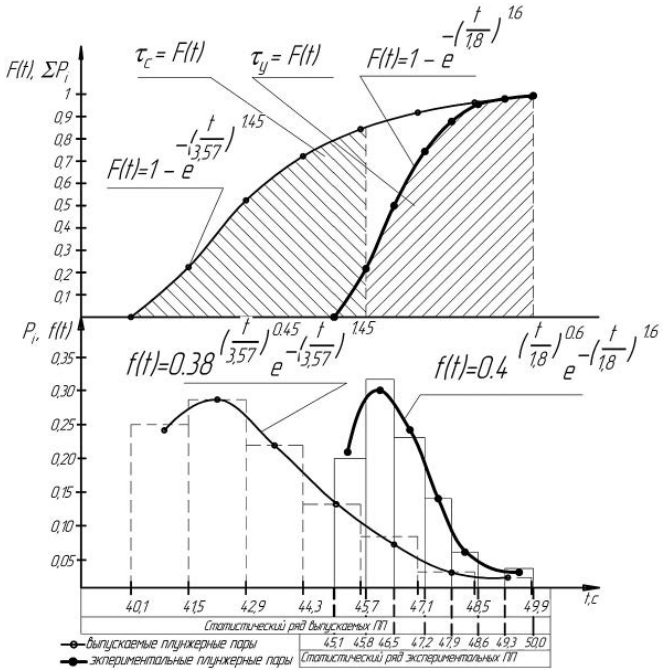


Рис. 1. Экспериментальное и теоретическое распределение гидравлической плотности выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар

Результаты и обсуждение. При проведении сравнительных исследований цикловой подачи выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар в зависимости от оборотов кулачкового вала топливного насоса и положе-

ния рейки было установлено, что при частоте вращения кулачкового вала в диапазоне 200…1000 мин$^{-1}$ при L=0 мм, что соответствует положению рейки максимальной подачи топлива, составило 115…145 мл или на 26,1%, при L=2 мм, L=4 мм и L=6 мм уменьшение цикловой подачи составило 57,1%, 54,5% и 53% соответственно.

Причем при положении рейки L=6 мм в диапазоне частоты вращения кулачкового вала 200-300 мин$^{-1}$ топливо не подавалось. Исследования цикловой подачи экспериментальных плунжерных пар при различном положении рейки показали, что при положении рейки L=0 мм снижения подачи топлива не было, при L=2 мм, L=4 мм и L=6 мм уменьшение цикловой подачи составило 35,2%, 37,7% и 26,1% соответственно.

Результаты исследования неравномерности подачи топлива показали, что неравномерность топливоподачи выпускаемых плунжерных пар, при частоте вращения кулачкового вала в диапазоне 200-1000 мин$^{-1}$ и положении рейки L=0, L=2 мм, L=4 мм и L=6 мм, составляет 25-36%, а у экспериментальных не превышает 5%.

Сравнительные испытания плунжерных пар ТНВД 4УТНМ, проводились на стенде СДМ 12-01. Проведенные исследования позволили установить зависимость цикловой подачи от времени наработки и частоты вращения кулачкового вала:

$$q_{цэксп} = 0,18 \cdot n - 0,0011 \cdot t - 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 20,6$$

$$q_{цсер} = 0,23 \cdot n - 0,0006 \cdot t - 0,0001 \cdot n^2 - 44,9$$

где $q_{цэксп}$ и $q_{цсер}$ – соответственно, цикловая подача экспериментальных и серийных плунжерных пар, мл; t– наработка плунжерных пар, мото-ч; n – частота вращения кулачкового вала топливного насоса, мин$^{-1}$.

Результаты, полученные в ходе испытаний, показали, что при номинальной частоте вращения кулачкового вала цикловая подача выпускаемых плунжерных пар снизилась на 2,8%, а у экспериментальных снижение топливоподачи составило 1,3%, неравномерность топливоподачи в обоих случаях не превышала 2%.

С уменьшением частоты вращения кулачкового вала ТНВД до 800 мин$^{-1}$, снижение цикловой подачи экспериментальных и заводских плунжерных пар составило 1,8% и 5,5%, а неравномерность топливоподачи по секциям повысилась до 2,3% и 6,7%, соответственно.

При частоте вращения кулачкового вала до 500 мин$^{-1}$, снижение цикловой подачи экспериментальных плунжерных пар составило 4,9% с неравномерностью подачи по секциям 2,8%, а у заводских 9,3% и 24,6%, соответственно.

При проведении эксперимента было установлено, что у серийных и экспериментальных плунжерных пар скорость изнашивания максимальна при максимальном давлении в зоне контакта и максимальной скорости относительного перемещения, поэтому расчет ресурса производился относительно этих данных. Основываясь на полученных вычислениях получена модель формирования постепенного отказа (рис. 2) серийных и экспериментальных плунжерных пар.

При максимальных значениях давления в зоне контакта и скорости относительного перемещения, процесс изнашивания рабочих поверхностей серийных и экспериментальных плунжерных пар будет происходить со скоростью $\beta_1^с$ = 9мкм и $\beta_1^э$ =0,85мкм за 1000 ч соответственно.

При такой скорости изнашивания прогнозируемый ресурс серийных

плунжерных пар составит T_{min}^{c}=2500 ч, что в 2,4 раза меньше ресурса экспериментальных. При минимальных значениях давления в зоне контакта и скорости относительного перемещения, скорость изнашивания рабочих поверхностей серийных и экспериментальных плунжерных пар составит β_2^{c} = 5,5 мкм и $\beta_2^{э}$ = 0,57 мкм за 1000 ч соответственно. При таких показателях ресурс экспериментальных плунжерных пар составит $T_{max}^{э}$ = 9000 ч, что в 2,25 раза больше ресурса серийных плунжерных пар.

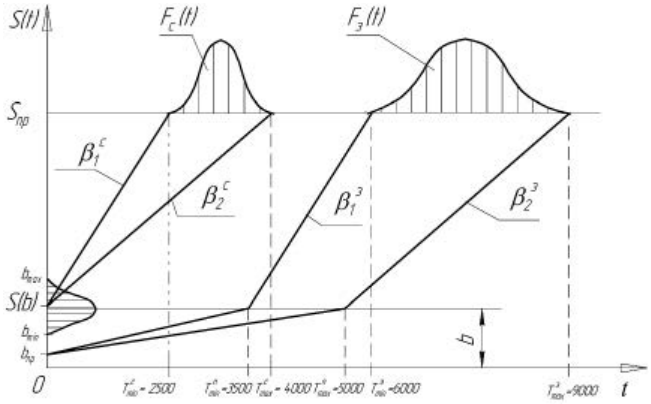


Рис. 2. Модель формирования постепенного отказа серийных и экспериментальных плунжерных пар

Выводы. Таким образом, формирование тонкопленочных износостойких покрытий на рабочих поверхностях плунжерных пар обеспечивает не только повышение ресурса в 2,25… 2,4 раза, но и повышение эффективности работы дизельных энергосредств в составе МТА за счет снижения расхода топлива на 15-17%.

Библиографический список

1. *Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: Монография. // Ставрополь, 2012. 376 с.*
2. *Лебедев, А.Т. Оценка технических средств при их выборе: Монография. Ставрополь: АГРУС, 2011. 142 с.*
3. *Пат. 2423214 Российская Федерация, B23P6/00 (2006.01). Способ восстановления прецизионных деталей // Магомедов Р.А., Лебедев П.А. [и др.]. №2009147528/02; заявл. 21.12.2009; опубл. 10.07.2011. Бюл. N19. 9 с.*
4. *Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Васин В.А. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры / Тракторы и сельхозмашины. 2011. N7. С. 43-45.*
5. *Лебедев П.А., Лебедев А.Т. Режимы работы двигателей и расход топлива / Сельский механизатор. 2011. N12. С. 30-31.*
6. *Лебедев П.А., Цховребов В.С., Халюткин В.А., Васин В.А., Малюченко Б.В. Способы снижения расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных работ // Вестник АПК Ставрополья. 2012. Т. 7. N3. С. 47-49.*
7. *Лебедев А.Т. Расход топлива при выполнении технологических операций / А.Т. Лебедев, А.В. Захарин, П.А. Лебедев, Р.В. Павлюк, Н.А. Марьин //Наука в центральной России. 2017. N5(29). С. 83-91.*
8. *Васин В.А. Повышение ресурса плунжерных пар при их восстановлении / В.А. Васин, А.Т. Лебедев, П.А. Лебедев, Р.В. Павлюк, А.В. Захарин, Н.А. Марьин // Научная мысль. 2016. N5. С. 147-153.*

9. Марьин Н.А.,Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Магомедов Р.А., Захарин А.В., Кобозев М.А., Лебедев П.А., Васин В.А. Повышение ресурса плунжерных пар // Научная мысль. 2015. N3. С. 249-253.

10. Яковенко А.С., Лебедев П.А. Современные способы восстановления работоспособности прецизионных пар / Young Science. 2015. Т. 2. N6. С. 47-51.

11. Загородских Б.П., Лялякин В.П., Плотников П.А. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей // Москва, Росинформагроте 2006. 89 с.

References

1. Lebedev A.T. Resource-direction to improve reliability and efficiency of technological processes in agriculture: Monograph. // Stavropol, 2012. 376.

2. Lebedev A.T. Assessment of the technical means at their choice: Monograph / AT Lebedev. - Stavropol Agrus, 2011. 142.

3. Pat. 2423214 Russian Federation, B23P6 / 00 (2006.01). A method for recovery of precision parts [Text] / AT Lebedev, RA Magomedov, PA Lebedev [et al.]. N2009147528 / 02; appl. 21.12.2009; publ. 10.07.2011. Bull. N19. 9.

4. Lebedev A.T., Lebedev P.A., Vasin V.A. Improving the efficiency of diesel fuel equipment / Tractors and farm machinery. 2011. N7. 43-45.

5. Lebedev P.A., Lebedev A.T. Modes of operation of engines and fuel consumption / Rural mechanic. 2011. N12. 30-31.

6. Lebedev P.A. Ways to reduce fuel consumption when performing agricultural work / P.A. Lebedev, V.S. Tskhovrebov, V.A. Halyutkin, V.A. Vasin, B.V. Malyuchenko // Herald APK Stavropol. 2012. T. 7. N3. 47-49.

7. Lebedev A.T. Fuel Consumption when performing technological operations / A.T. Lebedev, A.V. Zacharin, P.A. Lebedev, R.V. Pavlyuk, N. Maria //Science in the Central Russia. 2017. N5 (29). 83-91.

8. Vasin V.A. Increase of a resource of the plunger while being repaired / V.A. Vasin, A.T. Lebedev, P.A. Lebedev, R.V. Pavlyuk, A.V. Zacharin, N. Maria // Scientific thought. 2016. N5. 147-153.

9. Marin N.Ah. Improving the resource plunger pairs / N.Ah. Marin, A.T. Lebedev, R.V. Pavlyuk, R.A. Magomedov, A.V. Zakharin, M.A. Kobozev, P.A. Lebedev, V.A. Vasin // Scientific thought. 2015. No. 3. C. 249-253

10. Yakovenko A.S., Lebedev P.A. Modern ways of restoration of working capacity of precision pairs / Young Science. 2015. Vol. 2. N6. 47-51.

11. Zagorodsky B.P. Lyalyakin V.P., Plotnikov P.A. Repair and regulation of fuel injection equipment tractor and combine diesels // Moscow, 2006 Rosinformagrotekh. 89.

УДК 501.22:621.763

ЛИТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: ПРИМЕНЕНИЕ И СВОЙСТВА

Андрей Александрович Андрушевич,
кандидат технических наук, доцент;
Павел Николаевич Василевский, e-mail: asp_science@mail.ru
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Калиниченко Владимир Александрович,
кандидат технических наук, доцент;
Белорусский национальный технический университет,
Лисай Николай Константинович, кандидат технических наук, доцент
Республиканское объединение «Белагросервис»,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: mail@ belagroservice.by

Реферат. *В статье представлены данные о литых композиционных материалах при использовании их высоконагруженных узлах трения. Показано, что повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач машиностроения. Решение этой важной задачи можно осуществить за счет использования композиционных материалов. Целью работы являлось разработка технологического процесса получения литых композиционных материалов и оценка их свойств в тяжелонагруженных узлах трения с малыми линейными скоростями. Для исследования были выбраны композиционные материалы на основе бронз БрБ2 с бериллием. Армирующим материалом при изготовлении литых композиционных материалов используется гранулы чугунной дроби диаметром порядка 1 мм. Были произведены механические испытания чугунной дроби. Показано, что образцы на которых были нанесены покрытия литейным способом при сравнительных испытаниях на износостойкость имели лучшие показатели. Общий износ пары трения – составил не более 0,1 мм/км пути; коэффициент трения со смазкой – 0,04-0,06. Установлено, что литые композиционные материалы на основе бронз обладают высокой износостойкостью и могут использоваться в узлах трения сельскохозяйственных машин агропромышленного комплекса.*

Ключевые слова: *композиционные материалы, ресурс деталей, ремонт, сухое трение, прочность, химическая стойкость, матрица, коэффициент трения, литейная технология.*

CAST COMPOSITE MATERIALS FOR USE IN AGRICULTURE: APPLICATION AND PROPERTIES

Andrushevich A. A., Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor;
Wasilewski P.N., e-mail: asp_science@mail.ru
Institution of Education "Belarusian State Agrarian Technical University",
Kalinichenko V. A., Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor;
Belarusian National Technical University,

Minsk, Republic Of Belarus
Lisay N.K., Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor
Republican Association "Belagroservis",
Minsk, Republic Of Belarus, e-mail: mail@ belagroservice.by

Abstract. *The article presents data on cast composite materials using their high-loaded friction units. It is shown that the increase of wear resistance of surfaces of parts in friction units is one of the priorities of mechanical engineering. The solution of this important problem can be achieved through the use of composite materials. The aim of the work was to develop the technological process of production of cast composite materials and evaluation of their properties in heavy-loaded friction units with low linear velocities. Composite materials based On brb2 bronze with beryllium were selected for the study. The reinforcing material in the manufacture of cast composite materials used granules of cast iron shot with a diameter of about 1 mm. mechanical testing of cast iron shot. It is shown that the samples on which coatings were applied by casting method in comparative tests on wear resistance had the best performance. The total wear of the friction pair-was no more than 0.1 mm/ km; the coefficient of friction with the lubricant – 0.04-0.06. It is established that cast composite materials based on bronze have high wear resistance and can be used in friction units of agricultural machines of the agro-industrial complex.*

Keywords: *composite materials, resource, parts, repair, dry friction, strength, chemical stability, the matrix, and the coefficient of friction, foundry technology.*

Введение. Повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач машиностроения. Для решения данной задачи целесообразно переходить на управление технологическим процессом формирования структуры на микро- и наноуровнях. Представляет научный интерес применения таких технологий для управления структурой композиционных материалов с макрогетерогенной структурой, получаемых литейной технологией (твердожидким синтезом). Данные материалы показали высокие эксплуатационные свойства при использовании в тяжелонагруженных узлах трения [1, 2]. В силу особенностей структуры и состава эти композиционные материалы показали наиболее эффективное применение при низких скоростях относительного движения в узлах трения и высокой удельной нагрузке [3]. Наибольшую нагрузку несут поверхностные слои, поэтому для повышения ресурса деталей важно обеспечить высокую износостойкость поверхностных слоев. Было изучено влияние модифицированных смазок и установлено их положительное влияние [4]. Однако, разработанные материалы интересны и для условий отсутствия смазки, что происходит при аварийных состояниях. Поэтому необходимо разрабатывать методы повышения износостойкости поверхностных слоев материалов с макрогетерогенной структурой.

Цель исследования. Разнообразие режимов эксплуатации узлов трения требует создания триботехнических материалов, наиболее эффективных для применения в конкретных условиях. При эксплуатации машин и оборудования важную роль играет снижение расходов на техническое обслуживание, плановые и текущие ремонты [4].

Материалы и методы. Одним из методов их уменьшения является по-

вышение надежности узлов и агрегатов. В узлах трения данный аспект может быть решен с помощью выхода эксплуатационных свойств материала в режим «безизносного трения», для реализации такого эффекта наиболее предпочтительно – идеальное выполнение принципа Шарпи [5]. Литые композиционные материалы (ЛКМ) с матрицами на основе медных сплавов и армирующими чугунными гранулами максимально приближены к заявленному принципу. За счет введения в металлическую матрицу высокопрочных и высокомодульных гранул удается резко повысить прочность, жаропрочность, вязкость, трещиностойкость материалов. Сочетание матрицы и гранул, обладающих специальными физическими свойствами, открывает широкие возможности для создания новых уникальных композиционных материалов, что дает возможность эксплуатировать сельскохозяйственные и энергетические машины в тяжелых условиях, включая режимы сухого трения.

Армированные ЛКМ относятся к числу наиболее перспективных конструкционных материалов. В настоящее время хорошо развиты теоретические основы механики армированных композиционных материалов, существенные успехи достигнуты в материаловедении. Однако имеется еще много проблем, связанных с выбором оптимальной технологии, обеспечивающей достижение на практике предсказываемых теорией свойств композитов, управления межфазным взаимодействием для повышения стабильности структуры и свойств ЛКМ, разработкой новых видов армирующих элементов, позволяющих поднять уровень эксплуатационных характеристик композита [5].

Композиционные материалы на основе меди разрабатывают, главным образом, триботехнического назначения, так как они обладают повышенными механическими свойствами. Для макрогетерогенных композиционных материалов, применяемых в узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего элемента. По результатам ранее проведенных испытаний наиболее эффективно использование безоловянистых бронз. Среди них, особое значение в качестве основы играют кремнистые бронзы (содержание кремния до 3,5%). Наибольшее распространение получили бронзы, дополнительно легированные никелем и марганцем, которые улучшают механические и коррозионные свойства. В кремнемарганцевой бронзе БрКМцЗ-1 добавка 1,0-1,5% марганца практически полностью находится в α-твердом растворе, поэтому полуфабрикаты из этого сплава упрочняющей термической обработке не подвергаются. Бронза БрКН1-3 относится к числу термически упрочняемых сплавов, в которых никель с кремнием образуют силицид Ni_2Si с растворимостью, резко уменьшающейся с понижением температуры. Силицид кремния определяет упрочнение бронзы при старении (450°С, 1 час) после закалки с 850°С. Бронзы БрКМцЗ-1 и БрКН1-3 отличаются высокими пружинными и антифрикционными свойствами, а также хорошей коррозионной стойкостью. Бронзы технологичны: деформируются в горячем и холодном состояниях, свариваются с другими бронзами и сталью, паяются мягкими и твердыми припоями.

Результаты и обсуждение. По результатам проведенного обзора, кроме применения в композициях бронз типа БрКЗМц, была использована бронза типа БрБ2 с бериллием, обладающая более низкой температурой плавления, отсутствием при ударном воздействии искры, с практически аналогичными

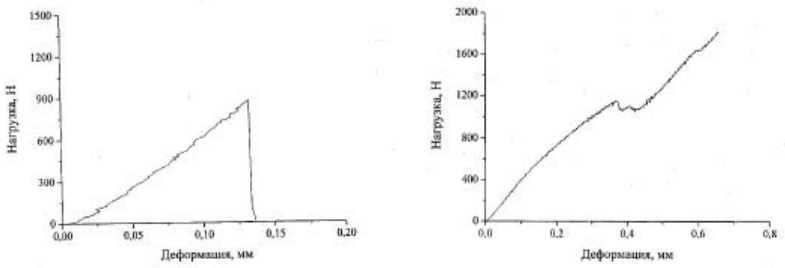
механическими свойствами [6]. Высокая прочность и упругость, при одновременно повышенной химической стойкости, хорошая обрабатываемость резанием и свариваемость делает бериллиевую бронзу подходящей основой ЛКМ при производстве деталей ответственного назначения.

При изготовлении (литье и термическая обработка) деталей узлов трения из литых композиционных материалов на основе литых гранул чугунов марки ДЛЧ с матрицей из бронзы БрКЗМц1 установлено образование массивной прослойки интерметаллида (200-500 мкм). При таких толщинах этот интерметаллид должен разрушаться уже при минимальных динамических нагрузках. Однако в действительности этого не происходит. С появлением данного интерметаллида можно связать высокую износостойкость этого ЛКМ в различных условиях по сравнению с другими материалами подобного типа. Он уже применяется для тяжелонагруженных пар трения, в различных областях промышленности [4].

Следующим этапом был проведен анализ армирующего элемента составляющего тело ЛКМ. Если в качестве армирующего элемента, в основном, используется чугунная дробь марки ДЛЧ диаметром порядка 1 мм, то в отношении состава матрицы имеется широкий спектр подходящих материалов, которые удовлетворяют поставленной задаче (повышенная прочность на сжатие, низкий коэффициент трения и высокая износостойкость). Однако прочностные характеристики дроби, во многом определяют срок службы и работоспособность изделия из ЛКМ.

Для прогнозирования свойств синтезируемых материалов оценивались прочностные свойства дроби ДЛЧ, поставляемой заводом производителем и такой же дроби термически обработанной по методике, разработанной в Белорусском национальном техническом университете. Исследования на прочность при сжатии проводились по 10 образцам (дробь диаметром 1мм), и показали практически одинаковую картину разрушения (рис. 1).

Дробь с заводской закалкой полностью разрушилась (раскололась) при нагрузке в 90кг, в то время как обработанная дробь выдерживала нагрузку около 120кг. После чего начинала пластически деформироваться. Данные исследования показали, что процесс термической обработки дроби принципиален при использовании ее в трибоэлементах.

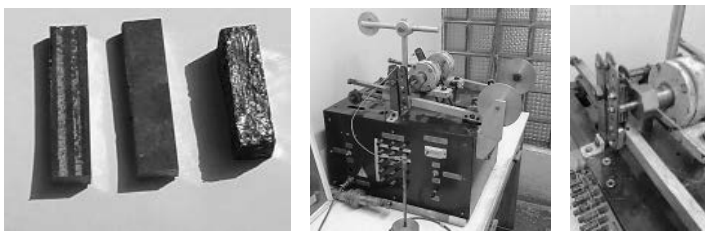


а *б*

Рис. 1. Диаграммы нагружения чугунной дроби на сжатие:
а – необработанная дробь, б – обработанная

Были проведены сравнительные триботехнические испытания композиционных материалов, полученных методами литейного производства и высокоэнергетическим воздействием. Для испытаний изготовлены образцы

макрогетерогенных литых композиционных материалов: 1 – ЛКМ, упрочненный лазерной закалкой, 2 – такой же образец, получаемый по стандартной технологии термического синтеза и 3 – образец, синтезированный методом индукционного нагрева.



а *б* *в*

Рис. 2. Образцы композиционных материалов: а – образцы; б – машина для проведения испытаний; в – образец, закрепленный закрепленный в ней

Испытания проводились при трении по испытуемому образцу из литого композиционного материала стержня, изготовленному из стали У8 (рис. 2в), совершающего как вращательное, так и возвратно поступательное движение. Скорость вращения стержня составляла 37 об/мин, нагрузка на стержень – 3500 г, время испытания – 1 час. Было выявлено, что потеря массы образцов напрямую зависит от способа их получения. Наиболее высокий результат был получен у ЛКМ, полученного по стандартной технологии, далее - образец, полученный высокоэнергетическим воздействием и образец, подвергнутый лазерному упрочнению.

Из разработанных материалов могут изготавливаться изделия практически любой геометрической формы и размера, включая биметаллические заготовки, например, направляющие различного назначения, червячные колеса, втулки, подшипники скольжения. На рис. 3 приведены полученные изделия из литых композиционных материалов на основе бронз БрКЗМц1, БрБ2.

а *б* *в*

Рис. 3. Изделия из литых композиционных материалов
а – шестерня, б – биметаллическая втулка, в – композиционная втулка для веялок компании REG AG (Германия).

Благодаря особенностям и высоким механическим свойствам композиции (общий износ пары трения – не более 0,1 мм/ км пути; коэффициент трения со смазкой – 0,04-0,06; удельное давление – до 100 кг/см^2; электрохимическая стойкость при работе с ответной парой трения) данный тип материалов может эксплуатироваться в ряде агрессивных сред с высокой запылённостью, повышенной температурой или влажностью и др., где использование

аналогичных материалов не представляется возможным. Температура эксплуатации изделий составляет до 500°С.

Выводы. Рассмотрены особенности синтеза литых композиционных материалах на основе меди с макрогетерогенной структурой, высокой износостойкости для работы в высоконагруженных узлах трения с малыми линейными скоростями. Из разработанных материалов можно изготавливать изделия практически любой геометрической формы и размеров, включая биметаллические детали, предназначенные для использования в узлах трения сельскохозяйственных и энергетических машин агропромышленного комплекса.

Библиографический список

1. Kalinichenko A.S., Kezik V.Ya., Bergmann H.W., Kalinitchenko V.A. Structure of surface layers of metal matrix composites // Materialswissenshaft und Werkstofftechnik. 1999. 30. 136-144.

2. Калиниченко А.С., Кобзарь Ю.В., Воронов Е.О. Опыт применения композиционных материалов с макрогетерогенной структурой для нормализации тепломеханического состояния паровых турбин // Энергетика – Изв. Вузов и энерг. объединений СНГ. 2013. N3. С. 79-86.

3. Калиниченко А.С., Кезик В.Я., Иванова Р.К. Формирование структуры поверхностного объема литых макрогетерогенных композиционных материалов в условиях низкоскоростного трения без смазки // Литье и металлургия. 2003. N2. С. 118-123.

4. Витязь П.А., Калиниченко А.С., Жорник В.И., Кукареко В.А. Применение макрогетерогенных композитов и модификация смазочных материалов для модернизации тяжело-нагруженных узлов трения // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. N11. С. 2-9.

5. Тучинский Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. М.: Металлургия, 1986. 208 с.

6. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 546с.

7. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М, Восстановление деталей машин // М.: 2003. 340 с.

References

1. Kalinichenko A.S., Kezik V.Ya., Bergmann H.W., Kalinitchenko V.A., Structure Of Surface Layers Of Metal Matrix Composites // Materialswissenshaft Und Werkstofftechnik. 1999. 30. 136-144.

2. Kalinichenko A.S., Kobzar Yu.V., Voronov E.O. Experience Of Application Of Composite Materials With Macroheterogeneous Structure For The Normalization Of The Thermomechanical Condition Of Steam Turbines, Power – Izv. Universities And Energ. Associations Of The Cis. 2013. N3. 79-86.

3. Kalinichenko A.S., Keswick V.Ya., Ivanova R.K. Formation Of The Structure Of The Surface Volume Of Cast Mikrogeterogennye Of Composite Materials In Conditions Of Low Friction Without Lubrication // Casting And Metallurgy. 2003. N2. 118-123.

4. Vityaz P.A., Kalinichenko A.S., Zhornik V.I., Kukareko V.A. Mikrogeterogennye The Use Of Composites And The Modification Of Lubricants For The Modernization Of Heavily-Loaded Friction Units // Repair, Restoration, Modernization. 2010. N11. 2-9.

5. Tuchynska, L. I. Composite Materials Obtained By Impregnation. M.: Metallurgy, 1986. 208 .

6. Gulyaev A.P. Physical Metallurgy, Ed.6-E, M.: Metallurgy, 1986. 546 c.

7. Panteleenko F.I., Lyalyakin V.P., Ivanov V.P., Konstantinov V.M., Restoration of machine parts // Under the editorship of V.P. Ivanov / Moscow, 2003. 340.

УДК 621.787.001.57

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН – ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Александр Геннадиевич Пастухов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,
Алексан Гургенович Минасян, кандидат технических наук, доцент;
Николай Михайлович Дегтярев, инженер;
Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская область, Российская Федерация, e-mail: pastukhov_ag@mail.ru

Электромеханическая обработка широко применяется при изготовлении и восстановлении широкого перечня деталей машин. Особенностью электромеханической обработки является комбинированное термическое и механическое воздействия на рабочие поверхности деталей. На основе применения электромеханической обработки при закалке зубьев звездочек, валов-шестерен и зубчатых колес, изготовлении втулки путем электромеханического дорнования, закалке посадочных мест валов под подшипники качения, участков валов под ступицы шкивов и зубчатых колес подтверждена эффективность вида обработки. В практике восстановления крестовин карданных шарниров существуют различные способы: вибродуговая наплавка, пластическая деформация, электроконтактная приварка ленты, способ ремонтных размеров и энергией взрыва. На основе данных технологических режимов выполнен сопоставительный анализ теплового баланса различных видов обработки шипов крестовин. Результаты расчетной оценки показывают, что наименьшим показателем выделяемой теплоты обладает пластическая деформация, однако необходимость предварительного нагрева и другие недостатки не позволяют рекомендовать этот вид обработки в качестве наиболее энергоэффективного. В этой ситуации целесообразно применение электромеханической обработки, как при изготовлении, так и при восстановлении шипов. Следовательно, в зависимости от величины и характера дефекта рабочих поверхностей шипов крестовин электромеханическая обработка может обеспечить восстановление геометрии и улучшение физико-механических свойств рабочих поверхностей детали. Кроме того, следует учесть технические и технологические преимущества электромеханической обработки: широкий перечень материалов деталей, минимальный припуск под финишную механическую обработку, локальное термомеханическое воздействие на восстанавливаемые поверхности детали, применяемое оборудование позволяет обрабатывать детали самых разных форм, типов и размеров.

Ключевые слова: *электромеханическая обработка, крестовина, твердость, тепловой баланс.*

ELECTROMECHANICAL PROCESSING THE PARTS OF CARS – ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY

Alexander G. Pastukhov, Dr.Sc. (Eng.), professor, head of the department,
e-mail: pastukhov_ag@mail.ru,
Aleksan G. Minasyan, Ph.D. (Eng.), associate professor
Nikolay M. Degtyarev, engineer
Federal state budgetary educational institution of the higher education
«Belgorod state agricultural university named V.Ya. Gorin»,
Belgorod district, Russian Federation

Electromechanical processing is widely applied at production and recovery of the wide list of parts of cars. Feature of electromechanical processing is combined thermal and mechanical impacts on working surfaces of parts. On the basis of application of electromechanical processing during the tempering of teeths of asterisks, gear shafts and cogwheels, production of the plug by electromechanical burnishing, sites of shaft under naves of pulleys and cogwheels the efficiency of a type of processing is confirmed to tempering of seats of shaft under rolling bearings. In practice of recovery of crosspieces of cardan joins there are different ways: vibroarc building up, plastic deformation, electrocontact welding of a tape, way of the repair sizes and energy of explosion. On the basis of these technology modes the comparative analysis of a heat balance of different types of processing of thorns of crosspieces is made. Results of rated assessment show that plastic deformation possesses the smallest indicator of the marked-out warmth, however need of preliminary heating and other shortcomings don't allow to recommend this type of processing as the most energy efficient. In this situation application of electromechanical processing is reasonable, both at production, and at recovery of thorns. Therefore, depending on size and the nature of defect of working surfaces of thorns of crosspieces electromechanical processing can provide recovery of geometry and improvement of physicomechanical properties of working surfaces of a part. Besides, it is necessary to consider technical and technology advantages of electromechanical processing: the wide list of materials of parts, the minimum allowance allows to process parts of the most different forms, types and the sizes for finishing machining, local thermomechanical impact on the recovered part surfaces, the used equipment.

Keywords: *electromechanical processing, crosspiece, hardness, heat balance.*

Введение. Повышение эффективности сельского хозяйства России базируется на инновационном развитии современной техники и ресурсосберегающих технологий с целью увеличения производства высококачественной продукции. Однако недостаточная техническая и технологическая оснащенность предприятий приводит к существенному росту затрат на ремонт техники в условиях сокращения парка. В этой связи повысить эффективность технического сервиса машин и оборудования можно путем оснащения предприятий современными энергоэффективными технологиями, позволяющими производить изготовление и восстановление деталей с высоким качеством рабочих поверхностей [1]. Наиболее эффективным направлением снижения себестоимости изготовления и восстановления деталей и повышения качества машин являются технологии обработки поверхностей

концентрированными потоками энергии. К таким технологиям относится электромеханическая обработка (ЭМО) деталей из металлов и сплавов, применение которой позволяет повысить их долговечность. Теория и технология ЭМО, а также практика применения на производстве отработаны достаточно полно в исследованиях В.П. Багмутова, А.В. Морозова, Л.В. Федоровой, С.К. Федорова, С.Ю. Элькина и других ученых [2-6].

Наиболее развита технология ЭМО наружных цилиндрических поверхностей, в частности, посадочных мест валов под подшипники качения, участков валов под ступицы шкивов и зубчатых колес, деталей из конструкционных, инструментальных, специальных сталей и чугуна, при этом глубина закалки составляет 0,5-2 мм при твердости поверхностного слоя 42-69 HRC [3, 4]. Применительно к поверхностной закалке зубьев звездочек, валов-шестерен и зубчатых колес разработаны технологические процессы ЭМО при которых поверхность деталей из сталей 40Х и 45 имеет твердость 48-58 HRC на глубине 0,3-1,2 мм, а сердцевина зубьев имеет исходную твердость материала 18-24 HRC [3, 4]. При ремонте агрегатов автомобилей и тракторов разработан способ изготовления втулок применением электромеханического дорнования при котором твердость поверхностного слоя втулки из стали 40Х составляет 48-52 HRC, глубина упрочнения 0,15-0,18 мм, а шероховатость обработанной поверхности уменьшается с R_a=8,092 мкм до R_a= 0,322 мкм [5]. Широкий пласт исследований проведен по ЭМО упругих элементов сельскохозяйственной техники на примерах восстановления винтовых пружин, рессорных листов и торсионных валов, при которой микротвердость деталей повышается на 22-37%, предел выносливости - на 5-7%, релаксационная стойкость – на 810%, износостойкость на 44-47% [6].

Следовательно, отмечаем высокую эффективность восстановления и упрочнения деталей с использованием ЭМО, которая отвечает современным требованиям технологий изготовления и восстановления. Однако, данные результаты исследований не нашли применения при разработке перспективных технологических процессов изготовления и восстановления карданных крестовин.

Цель исследования – обоснование применимости и эффективности электромеханической обработки карданных крестовин сельскохозяйственных машин.

Для достижения поставленной цели следует решить задачи:

1) изучить существующие способы ЭМО деталей машин;
2) изучить способы восстановления карданных крестовин;
3) выполнить теоретический анализ теплового баланса различных способов восстановления на примере крестовины.

Материалы и методы. В практике восстановления крестовин карданных шарниров известны способы на основе вибродуговой наплавки, пластической деформации, электроконтактной приварки ленты, нанесении электролитических покрытий, ремонтных размеров и другие. Шипы карданных крестовин диаметром 11-25 мм восстанавливают вибродуговой наплавкой в среде углекислого газа CO_2 с использованием наплавочных проволок Нп-65Г и Нп-30ХГСА. К недостаткам наплавки относят: низкое качество наплавленных слоев (высокая структурная неоднородность, пористость и др.), высокую трудоемкость технологического процесса и низкий ресурс восстановленной крестовины (примерно 45-55% от уровня новой) [7, 8].

Пластическую деформацию шипов крестовин осуществляют путем раздачи твердосплавным дорном при обильной подаче смазочно-охлаждающей жидкости в зону деформации предварительно нагретой до 950-1000°С детали, что позволяет получить увеличение наружного диаметра шипов на 0,30-0,35 мм, при постоянстве линейных размеров. К основным недостаткам относят применимость раздачи крестовин с износом по наружному диаметру, не превышающим 0,3 мм и отсутствие компенсации износа крестовин по торцам [7, 8]. Рекомендуемые параметры режима электроконтактной приварки ленты толщиной до 1 мм следующие: сила сварочного тока – 16,1-18,1 кА, подача сварочных клещей – 3-4 мм/об, усилия сжатия электродов – 1,30-1,60 кН, ширина рабочей части сварочных роликов – 4 мм, скорость наплавки 3-4 м/мин. Основные недостатки электроконтактной приварки ленты: низкое качество наплавленных слоев и низкий ресурс восстановленной крестовины [7, 8]. К преимуществам электролитического хрома относят: высокую твердость – в 1,5-2,0 раза выше, чем при закалке током высокой частоты; высокая износостойкость в абразивной среде – в 2-3 раза по сравнению с закаленной сталью; устойчивость в отношении химических и температурных воздействий; низкий коэффициент трения – на 50% ниже, чем у стали и чугуна; высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали. Недостатками хромирования и покрытия являются: низкий выход металла по току – 8-42%; низкая скорость отложения осадков – 0,03 мм/ч; толщина отложения покрытия не превышает 0,3 мм; гладкий хром плохо удерживает смазочный материал [7, 8]. Процесс электродугового напыления металла осуществляется при скорости частиц при пролете 250 мм от сопла до детали от 85 до 190 м/с, а время нахождения частиц в полете – 0,003 с. Применяют проволоку Св-Ак-5 при следующих параметрах режима: ток дуги 300 А; напряжение дуги 28-32 В; давление сжатого воздуха 0,4-0,6 МПа, расстояние от сопла до детали 80-100 мм; источник питания ВДГИ-301; толщина наносимого слоя до 5 мм, продолжительность операции 8-10 мин, потребляемая мощность около 10,8 кВт. К недостаткам электродугового напыления относят повышенное окисление металла, выгорание легирующих элементов и пониженная плотность покрытия [7, 8].

При ЭМО металл детали испытывает термомеханическое местное воздействие на поверхностный слой, при котором через место контакта инструмента с деталью пропускают ток большой силы и низкого напряжения. К рекомендуемым параметрам относят: сила тока – 800-1200 А, скорость обработки – 8-10 м/мин, подача – 0,2-0,3 мм/об, минимальная глубина упрочненного слоя равна 0,15-0,30 мм, число проходов – 1-2 [9, 10].

При обработке рабочих поверхностей шипов крестовин наибольшее значение на формирование структуры и, как следствие, свойств поверхностного слоя детали оказывает температура в зоне контакта «инструмент – поверхность», получаемая в результате преобразования электрической и механической энергии в тепловую. Показателем энергоэффективности упрочняющей обработки, в этом случае, является минимум теплоты выделяемой в процессе без использования дополнительного источника тепла.

Результаты и обсуждение. Тепловой баланс процесса ЭМО на основании теории Б.М. Аскинази показывает, что общее количество тепла складывается из тепла, выделяемого проходящим электрическим током Q_1, Дж, тепла от трения инструмента об обрабатываемую поверхность Q_2, Дж, и тепла,

выделяемого при пластическом деформировании материала Q_3, Дж, [11]

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (1)$$

С учетом потерь во вторичной электрической цепи имеем

$$Q_1 = 0{,}24\eta IU\tau, \quad (2)$$

где η – коэффициент, учитывающий потери электрического тока во вторичной цепи (принимаем 0,42); I – сила тока во вторичной цепи, А; U – напряжение вторичной цепи, В; τ – время обработки, с.

Частоту вращения детали определяем как

$$n_ф = 1000V_ф/\pi D, \quad (3)$$

где $V_ф$ – фактическая скорость обработки, м/мин; D – диаметр обрабатываемой детали, мм (принимаем D=16,3 мм).

Время обработки определяем по формуле:

$$\tau = Li/n_ф S, \quad (4)$$

где L – длина обрабатываемой поверхности (принимаем по длине шипа крестовины L=13,8 мм); S – подача, мм/об; i – количество проходов (i=1).

Величину Q_2 определяем по формуле:

$$Q_2 = P_и H f_{ск}/102, \quad (5)$$

где $P_и$ – усилие в зоне контакта инструмент–поверхность, Н; Н – высота высокотемпературной зоны (принимаем Н=1 мм); $f_{ск}$ – коэффициент трения скольжения при установившемся процессе.

Уравнение расчета общего количества тепла Q_3, Дж, выделяемого при пластическом деформировании с учетом постоянных условий внешнего нагружения без использования электрического тока, имеет вид:

$$Q_3 = P_д V/E, \quad (6)$$

где $P_д$ – усилие деформирования металла, Н; V – скорость вращения инструмента, мин-1; Е – механический эквивалент теплоты (принимаем Е=427 кг·м/ккал).

Количество тепла $Q_Т$, поглощаемого в высокотемпературной зоне обрабатываемой поверхности детали и инструмента за время обработки τ будет:

$$Q_Т = Qk_д k_и, \quad (7)$$

где $k_д$, $k_и$ – коэффициенты, учитывающие отвод тепла соответственно в деталь и инструмент (принимаем: $k_д$=0,234, $k_и$=0,6) [4].

Для способов хромирования и электродугового напыления с известным временем обработки выражения (2)-(4) не рассчитываются.

Рассчитаем тепловой баланс на примере ЭМО цилиндрических поверхностей шипов крестовины карданного шарнира IV типоразмера:

1) при I=1000 А и U=4 В по формуле (2) получаем Q_1 = 11391 Дж;
2) при $V_ф$=0,5 м/мин по формуле (3) получаем $n_ф$=10 мин$^{-1}$;
3) при S=1,0 мм/об, i=1 по формуле (4) получаем τ = 82,8 с;
4) при $P_и$=500 Н и $f_{ск}$=0,65 по формуле (5) получаем Q_2 = 3,18 Дж;
5) общее количество тепла в зоне контакта составляет Q = 11395 Дж;
6) количество тепла $Q_т$ по формуле (7) равно $Q_Т$ = 1600 Дж.

Для остальных видов обработки результаты сведем в таблицу 1.

Анализируя результаты расчетов (таблица 1) отмечаем, что наименьшим показателем выделяемой теплоты обладает пластическая деформация, однако необходимость предварительного нагрева и вышеперечисленные недостатки не позволяют рекомендовать этот метод в качестве наиболее энергоэффективного способа. В таком случае наиболее целесообразно применение ЭМО в качестве способа упрочнения шипов.

Таблица 1

Тепловой баланс видов обработки крестовин

Способ обработки	Количество теплоты, Дж				
	Q_1	Q_2	Q_3	Q	Q_T
Вибродуговая наплавка	17905	0,17	-**	17905	2514
Пластическая деформация	-*	-*	194	194	27,3
Электроконтактная наплавка	198768	2,55	-	198771	27907
Хромирование	33799680	-**	-**	33799680	4745475
Электродуговое напыление	55987	-**	-**	55987	7861
ЭМО	11391	3,18	-**	11395	1600

* - без учета расхода энергии на предварительный нагрев крестовины;
** - обработка при которой нет усилия в зоне контакта «инструмент–поверхность»

В зависимости от величины износа и характера дефекта рабочих поверхностей шипов крестовин ЭМО может производиться по одной из схем:

1) восстановление геометрии и улучшение свойств поверхности детали, обусловленные структурными превращениями аустенита в мартенсит;

2) восстановление геометрии искаженных поверхностей с одновременным улучшением физико-механических свойств;

3) восстановление поверхностей за счет фазовых изменений структуры и переноса инструментального материала на деталь;

4) подготовка поверхности под последующее восстановление с применением дополнительных материалов.

Применение ЭМО крестовин позволит реализовать технические и технологические преимущества и рекомендации данного вида обработки:

1) ЭМО могут подвергаться детали из сталей 35, 40Х, 45, 55ПП, 60Г2С, 9ХС, ШХ15, 60ПП, СТВ2, 18ХГТ, 20Х4, 20ХГН, 20ХГНР и 15ХГН2ТА, которые применяются для изготовления крестовин карданных шарниров;

2) для деталей, упрочненных электромеханической обработкой, припуск под финишную механическую обработку минимальный и составляет 0,1…0,3 мм, что связано с отсутствием дефектов окисления, обезуглероживания и коробления поверхностного слоя деталей;

3) при термомеханическом процессе происходит локальное воздействие на необходимые восстанавливаемые поверхности; реализуется индивидуализация маршрутов восстановления с учётом нагрузок и условий эксплуатации; оборудование позволяет получать детали самых разных форм, типов и размеров.

Выводы. На основании обобщения можно сделать следующие выводы:

1) известны способы ЭМО при упрочнении и восстановлении рабочих поверхностей зубьев шестерен, втулок и наружных цилиндрических поверхностей, применение которых подтверждает эффективность данного вида обработки;

2) анализ существующих способов восстановления рабочих поверхностей крестовин показывает, что эти способы обладают малой энергоэффективностью и низким ресурсосбережением;

3) на основании теоретического анализа теплового баланса установлено, что ЭМО имеет низкий показатель выделяемого количества тепла поглощаемого в высокотемпературной зоне обрабатываемой поверхности детали;

4) перспективы дальнейших исследований заключаются в обосновании рациональных режимов ЭМО и проектировании перспективных технологических процессов упрочнения при изготовлении или восстановлении крестовин.

Библиографический список

1. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Организация и технология восстановления деталей машин: науч. издание. М.: Росинформагротех. 2016. 568 с.

2. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Дудкина Н.Г., Захаров И.Н., Савкин А.Н., Денисевич Д.С. Электромеханическое упрочнение металлов и сплавов: монография. Волгоград: ВолгГТУ. 2016. 460 с.

3. Федоров С.К., Федорова Л.В., Иванова Ю.С., Карпухин С.Д. Повышение износостойкости стальных деталей электромеханической обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия, 2017. Т.13. N7 (151). С. 305-308.

4. Федоров С.К., Федорова Л.В. Закалка, отделочно-упрочняющая обработка и восстановление деталей электромеханическим способом: Научно-практическое издание. М.: Издательский центр «ПРЕССА». 2010. 60 с.

5. Морозов А.В. Объемное электромеханическое дорнование тонкостенных стальных втулок: монография. Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина. 2013. 193 с.

6. Элькин С.Ю. Совершенствование технологических процессов восстановления упругих элементов: монография. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. 2002. 76 с.

7. Иванов В.П., Ивашко В.С., Константинов В.М., Лялякин В.П., Пантелеенко Ф.И. Восстановление и упрочнение деталей: справочник. М.: Наука и технологии, 2013. 368 с.

8. Ерохин М.Н., Пастухов А.Г. Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации: монография. Белгород: Изд-во БелГСХА, 2008. 160 с.

9. Пастухов А.Г., Федоров С.К.. Дегтярев Н.М., Жуков Е.М. Экспериментальные исследования влияния режимов ЭМО на эксплуатационные свойства рабочих поверхностей шипов крестовин // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т.117. С. 100-104.

10. Пастухов А.Г., Шарая О.А., Бережная И.Ш. Экспериментальные исследования режимов электромеханического упрочнения детали типа «плунжер» // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 148-157.

11. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой: монография. Л.: Машиностроение, 1977. 184 с.

References

1. Chernoivanov V.I., Lyalyakin V.P., Golubev I.G. Organizatsiya i tekhnologiya vosstanovleniya detaley mashin [Organization and technology of recovery of parts of cars]: sc. edition. Moscow: FGBNU Rosinformagrotekh, 2016. 568. (In Russian)

2. Bagmutov V. P., Parshev S.N., Dudkina N.G., Zakharov I.N., Savkin A.N., Denisevich D.S. Elektromekhanicheskoye uprochneniye metallov i splavov [Electromechanical hardening of metals and alloys]: monograph. Volgograd: VolgGTU, 2016. 460. (In Russian)

3. Fedorov S.K., Fedorova L.V., Ivanova Yu.S., Karpukhin S.D. Povysheniye

iznosostoykosti stalnykh detaley elektromekhanicheskoy obrabotkoy [Increase in wear resistance of steel parts electromechanical processing] // Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya, 2017. T.13. No. 7 (151). 305-308. (In Russian)

4. Fedorov S.K., Fedorova L.V. Zakalka, otdelochno-uprochnyayushchaya obrabotka i vosstanovleniye detaley elektromekhanicheskim sposobom [Tempering, the finishing strengthening processing and recovery of parts in the electromechanical way]: sc.-pract. edition. Moscow: Publishing center "PRESSA", 2010. 60. (In Russian)

5. Morozov A.V. Obyemnoye elektromekhanicheskoye dornovaniye tonkostennykh stalnykh vtulok [Volume electromechanical burnishing of thin-walled steel plugs]: monograph. Ulyanovsk: UGSHA of P.A. Stolypin, 2013. 193. (In Russian)

6. Elkin S.Yu. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh protsessov vosstanovleniya uprugikh elementov [Improvement of technology processes of recovery of elastic elements]: monograph. Saratov: SaratSU, 2002. 76. (In Russian)

7. Ivanov V.P., Ivashko V.S., Konstantinov V.M., Lyalyakin V.P., Panteleenko F.I. Vosstanovleniye i uprochneniye detaley [Recovery and hardening of parts]: reference book. M.: Nauka i tekhnologii, 2013. 368. (In Russian)

8. Yerokhin M.N., Pastukhov A.G. Nadezhnost kardannykh peredach transmissiy selskokhozyaystvennoy tekhniki v ekspluatatsii [Reliability of drive lines of transmissions of agricultural machinery in operation]: monograph. Belgorod: Publishing house of BelGSHA, 2008. 160. (In Russian)

9. Pastukhov A.G., Fedorov S.K., Degtyarev N.M., Zhukov E.M. Eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya rezhimov EMO na ekspluatatsionnyye svoystva rabochikh poverkhnostey shipov krestovin [Pilot studies of influence of the EMP modes on operational properties of working surfaces of thorns of crosspieces] // Trudy GOSNITI. 2014. T. 117. 100-104. (In Russian)

10. Pastukhov A.G., Sharaya O.A., Berezhnaya I.Sh. Eksperimentalnyye is-sledovaniya rezhimov elektromekhanicheskogo uprochneniya detali tipa «plunzher» [Experimental researches of the modes of electromechanical hardening of a part like "plunger"] // Trudy GOSNITI. 2017. T. 129. 148-157. (In Russian)

11. Askinazi B.M. Uprochneniye i vosstanovleniye detaley elektromekhanicheskoy obrabotkoy [Hardening and recovery of parts electromechanical processing]: monograph. L.: Mashinostroyeniye, 1977. 184. (In Russian)

УДК 621.7

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ МЕТОДОМ ФИНИШНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Саид Насибуллович Шарифуллин, доктор технических наук, профессор
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Российская Федерация, e-mail: saidchist@mail.ru;
Павел Абрамович Тополянский, кандидат технических наук,
заместитель генерального директора ООО «Плазмацентр»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;
Сергей Александрович Ермаков, кандидат технических наук,
технический директор ООО «Плазмацентр»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;
Андрей Павлович Тополянский,
генеральный директор ООО «Плазмацентр»
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: info@plasmacentre.ru;
Аулов Вячеслав Федорович, кандидат технических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В статье показано, что к топливной аппаратуре предъявляются повышенные требования по увеличению давления впрыска, обеспечению длительного постоянства зазоров, точного распыления топлива и его эффективного сгорания. Одновременно повышаются нормы экологичности, изменяются физико-химические свойства дизельного топлива, например, снижается содержание в нем сернистых соединений, что уменьшает смазывающую способность топлива. Также существует возможность загрязнения топлива водой, газами, технологическими примесями, микроабразивными частицами, микробиологическими организмами и продуктами их жизнедеятельности на всем пути его изготовления, транспортировки, хранения и потребления. Такое сочетание факторов требует разработки и использования новых материалов деталей топливной аппаратуры и технологий их изготовления и восстановления. В работе проведен анализ известных технологий нанесения покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. Сформулирована методология выбора оптимального процесса нанесения покрытий с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. В соответствии с данной концепцией выбора технологии повышения долговечности деталей топливной аппаратуры финишное плазменное упрочнение с нанесением многослойных износостойких покрытий является перспективной технологией. В работе представлены результаты исследования физико-механических свойств алмазоподобных покрытий типа DLCPateks (a-C:H/a-SiOCN), полученных на поверхностях трения транспортировкой атомарного и молекулярного потока частиц паров жидких химических соединений плазменной струей дугового плазмотрона атмосферного давления. Образованный на рабочих поверхностях слой представляет собой неметаллическое аморфное многослойное покрытие с низким коэффициентом трения, повышенной*

микротвердостью, химической инертностью, гидрофильностью, высокой жаростойкостью и диэлектрическими характеристиками. Чтобы минимизировать возможную дефектность основного материала на заключительной стадии изготовления деталей топливной аппаратуры предлагается наносить на них тонкопленочные покрытия.

Ключевые слова: *восстановление, покрытие, финишное плазменное упрочнение, износ, шероховатость, твердость, износостойкость, аморфность, гидрофильность, адгезионная прочность, ресурс*

RECOVERY OF FUEL DETAILS BY METHOD OF FINISHED PLASMA STIFFENING

Said N. Sharifullin, doctor of technical sciences, professor
Kazan (Privolzhsky) Federal University, Russian Federation
Pavel A. Topolyansky, Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director
Sergey A. Ermakov, Candidate of Technical Sciences, Technical Director
Andrei P. Topolyansky, General Director, Plasmacentre Ltd,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. *In connection with the development of engines with a minimum emission of harmful substances, with reduced fuel consumption, noise level, extended warranty period of operation, increased requirements for increasing the injection pressure, ensuring long-term gaps, accurate atomization of fuel and its efficient combustion are imposed on fuel equipment. At the same time, environmental standards are increasing, the physicochemical properties of diesel fuel change, for example, the content of sulfur compounds in it decreases, which reduces the lubricity of the fuel. There is also the possibility of contaminating fuel with water, gases, technological impurities, microabrasive particles, microbiological organisms and products of their vital activity all the way of its manufacture, transportation, storage and consumption. This combination of factors requires the development and use of new materials for fuel equipment parts and technologies for their production. Unfortunately, the materials and technologies used at the present time in the manufacture of parts of domestic fuel equipment do not differ much from those used in the last century, so their development is an urgent task. In the given work the analysis of known technologies of drawing of coverings for hardening and restoration of details of fuel equipment is carried out. The methodology of selecting the optimal coating process for the purpose of hardening and restoring the details of fuel equipment is formulated. In accordance with this concept of choosing the technology for increasing the durability of fuel equipment parts, the final plasma hardening with the application of multi-layer wear-resistant coatings is accepted as the most promising and interesting technology. The paper presents the results of a study of the physical and mechanical properties of diamond-like coatings of the type DLCPateks (a-C: H / a-SiOCN) obtained on friction surfaces by transporting the atomic and molecular flux of vapor particles of liquid chemical compounds by a plasma jet of an arc plasma torch of atmospheric pressure. The layer formed on the working surfaces is a non-metallic amorphous multilayer coating with a low coefficient of friction, increased microhardness, chemical inertness, hydrophilicity, high heat resistance and dielectric characteristics. To minimize*

the possible defectiveness of the main material, it is proposed to apply thin-film coatings to them at the final stage of manufacturing fuel equipment parts.

Keywords: *recovery, coating, finishing plasma hardening, wear, roughness, hardness, wear resistance, amorphous, hydrophilicity, adhesion strength, service life*

Введение. Топливная аппаратура, используемая в различных технических средствах, оказывает важное влияние на их ресурс, надежность и экономичность работы. Многочисленными исследованиями доказано, что износ деталей топливной аппаратуры обуславливает до 30% всех отказов двигателей. Условия эксплуатации, конструкторские и технологические аспекты изготовления, а также анализ изнашивания, методы повышения долговечности деталей топливной аппаратуры досконально рассмотрены в классических работах российских ученых еще в 70-80-х годах прошлого столетия, которые актуальны и в настоящее время [1-5].

В последнее время ощущается востребованность технологий упрочнения и восстановления изнашиваемых деталей, способных продлить их ресурс, сэкономить финансовые, материальные и временные затраты потребителя. В связи с этим разработка эффективных технологий упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры также представляется перспективным направлением исследований. Этому также способствует широкое применение машин и оборудования с иностранной топливной аппаратурой, для которой использование ремонтных технологий оправдано в связи с высокими ценами на запасные части.

Практически каждый второй дизельный двигатель оснащен системами впрыска топлива высокого давления Common Rail, производимая фирмами Bosch, Delphi, Denso, Siemens и др. Разработка и исследование технологий восстановления изнашиваемых деталей этой аппаратуры является важной задачей.

Основная нагрузка на детали, работающие в условиях трения и износа, воспринимается тонким поверхностным слоем, в связи с этим наиболее часто применяются износостойкие тонкопленочные покрытия. Для рационального выбора материалов покрытий и технологий их нанесения с целью повышения ресурса, надежности, и восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры целесообразно рассмотреть условия их эксплуатации, причины износа, разработать методологию выбора оптимального покрытия и технологию его нанесения, провести исследование отдельных свойств покрытий.

Основными физическими явлениями при эксплуатации металлических деталей топливной аппаратуры являются:

- воздействие активных компонентов низкомолекулярной углеводородной жидкости (топлива) с возможным содержанием в ней воды, газов, микроабразивных частиц и микробиологических организмов;
- осевое возвратно-поступательное и вращательное движение в условиях трения скольжения, а также трение качения с проскальзыванием металл по металлу при граничной смазке и наличия в зазоре топлива;
- высокоскоростное течение топлива при повышенном давлении с возможным содержанием в нем продуктов износа, коррозии и других загрязняющих веществ;
- воздействие химических соединений высокотемпературного газово-

го потока, образуемого при сгорании топливно-воздушной смеси;

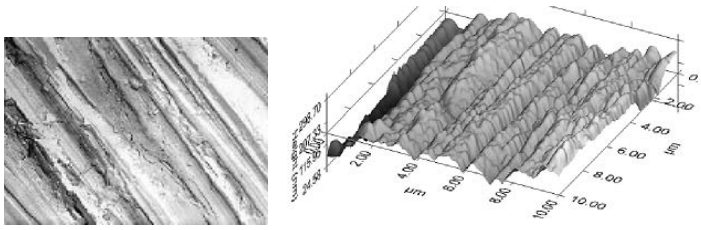
- знакопеременные, контактные, циклические, ударные и вибрационные нагрузки.

Величина износа деталей топливной аппаратуры, в большинстве случаев, не превышает 0,2-5 мкм [6, 7]. Исходя из микронных значений величин износа деталей топливной аппаратуры, их упрочнение и восстановление возможно с применением тонкопленочных покрытий.

Обеспечение максимально высокой твердости рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры связано с бытующим мнением адекватности их повышенной долговечности. В действительности же, при реальных условиях эксплуатации минимизация износа зависит от упругости и стойкости к деформациям поверхностного слоя не меньше, чем от твердости. Поэтому необходимыми условиями повышенной износостойкости являются максимальные значения критериев стойкости к упругой деформации (индекс пластичности), стойкости к пластической деформации и упругого восстановления [8, 9]. Управлять этими свойствами возможно нанесением тонкопленочных покрытий с оптимальными значениями твердости и модуля упругости и имеющими одновременно повышенные антифрикционные свойства (низкий коэффициент трения, минимальные длительность приработки, тепловыделение при трении, износ трущихся поверхностей). Дополнительно такие покрытия могут обеспечивать снижение уровня возникающих напряжений, залечивание поверхностных микродефектов, предотвращать растрескивание, минимизировать трибохимические эффекты, быть термостойкими и диэлектрическими.

Основными технологическими процессами изготовления деталей топливной аппаратуры являются традиционные операции механической и термической обработки, обработки холодом, шлифования, полирования, хонингования и доводки. При этом важно отметить, что детали топливной аппаратуры, изготавливаемые из российского или импортного проката, принадлежащие одной партии, даже при использовании одного и того же материала, обработанные в тождественных условиях могут значительно различаться по долговечности. Это связывается с качеством исходного материала и последующей их термической обработки (отличием химического состава, наличием неметаллических включений, пористости, карбидной и структурной неоднородности, крупнозернистостью, характером и структурой мартенсита закалки и т.д.). Чтобы минимизировать возможную дефектность основного материала целесообразно на заключительной стадии изготовления деталей наносить тонкопленочные покрытия.

Окончательной операцией при изготовлении высокоточных деталей топливной аппаратуры является доводка алмазными порошками и пастами, в результате которой удаляются локальные прижоги и грубые риски, полученные в процессе шлифования. При этом после операций шлифования и доводки в поверхностном слое образуются, в основном, растягивающие остаточные напряжения, способствующие раскрытию микротрещин и приводящие к снижению усталостной прочности деталей. Даже сверхтонкая доводка любых кристаллических материалов не исключает дефектность поверхности и наличие микротрещин. Типичный вид поверхности после практически любой обработки с использованием абразивных материалов представлен на рис. 1.



а *б*

Рис. 1. Топография поверхностного слоя стали ШХ15 с твердостью HRC 62 после операций шлифования и полирования: а – вид поверхности, полученный на электронном микроскопе при анализе снимков угольных реплик, увеличение х5000, б – нанотопография поверхности, полученная сканирующей зондовой микроскопией

Таким образом, в качестве оценки износостойкости деталей топливной аппаратуры в зависимости от качества материалов и технологий их изготовления может служить анализ физико-механических свойств, трибологических характеристик, шероховатости и гидрофильности поверхностного слоя, аморфного состояния и параметров адгезионной прочности покрытия.

Известные технологии нанесения покрытий для упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры можно условно разбить на три группы в зависимости от твердости создаваемого поверхностного слоя [10-25]:

1. Твердость ≤ 5 ГПа (менее твердости основного материала) - фрикционно-механическое латунирование; алюмохромофосфатирование; ионно-плазменное напыление покрытия TiN-Cu-MoS_2; электрохимикомеханическая обработка с использованием реновационной жидкости в виде раствора полиэтиленгликоля с цинком; электроискровое нанесение медно-графитовых покрытий; нанесение фторорганических поверхностно активных веществ (эпиламов); нанесение металлокерамического покрытия из природных слоистых силикатов на основе геоактиваторов (вермикулита, серпентинита и др.).

2. Твердость 5-8 ГПа (порядка твердости основного материала) – электролитическое хромирование; диффузионное хромирование; нитроцементация; электролитическое и газообразное хромирование путем термораспада гексакарбонила хрома; сульфохромирование; нитроцементация с введением активизирующей обмазки.

3. Твердость ≥11-12 ГПа (превышающая твердость абразивных частиц) – ионно-плазменное напыление покрытий из TiN; электролитическое хромирование с дополнительной модификацией ультрадисперсными алмазами; электролитическое хромирование с диэлектрическим наполнителем (оксидом алюминия); ионно-плазменное напыление наноструктированных покрытий TiN; алмазоподобные покрытия, наносимые с использованием физического (PVD) и химического (CVD) осаждения покрытий из паровой фазы; финишное плазменное упрочнение с нанесением многослойных износостойких покрытий.

Изучение приведенных выше технологий, а также конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы, связанные с износостойкостью, позволили сформулировать методологию выбора оптимального процесса нанесения покрытий с целью упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры. В соответствии с ней рассмотрим процесс фи-

нишного плазменного упрочнения (ФПУ) с нанесением алмазоподобного покрытия DLCPateks (a-C:H/a-SiOCN) [26, 27]. Процесс ФПУ основан на разложении паров жидких химических соединений, вводимых в плазму дугового разряда, и образовании атомарного и молекулярного потока частиц в плазмоструйном реакторе. Нагрев изделий при ФПУ не превышает 150°С. В результате ФПУ на рабочих поверхностях образуется неметаллическое аморфное многослойное покрытие с низким коэффициентом трения, повышенной микротвердостью, химической инертностью, гидрофильностью, высокой жаростойкостью и диэлектрическими характеристиками.

При ФПУ также производится очистка деталей от технологических загрязнений (микрозаусенцев, частиц обрабатываемого и режущего материала, окислов металлов, компонентов притирочных паст, остатков масел, растворителей, жиров, технологических растворов, пыли, песка, влаги, продуктов разложения рабочих и технологических жидкостей, микроорганизмов и продуктов их деятельности).

Анализ показывает, что порядка 80% плунжерных пар изначально имеют повышенный зазор между плунжером и втулкой. Поэтому в процессе замены деталей при ремонте топливной аппаратуры также целесообразно производить их ФПУ с нанесением на рабочие поверхности покрытия DLCPateks, которое уменьшит исходный зазор и будет препятствовать схватывания рабочих поверхностей.

Цель исследований. Показать возможности ФПУ по улучшению свойств рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры для сравнения с другими технологиями.

Применяемые материалы и методика проведения исследований.

При исследовании свойств покрытия DLCPateks, нанесенного по технологии ФПУ, в качестве материала подложки использовалась термообработанная сталь ШХ15. Толщина нанесенного покрытия, измеренная методом калотестирования с использованием Tribotester PC101 (Плазмацентр, Россия), составляла порядка 1 мкм. Физико-механические характеристики покрытия определялись наноиндентором TI 750Ubi (Hysitron, США). Коэффициент трения покрытия DLCPateks измерялся при испытаниях на трибометре TRB-S-DE (CSM-Instruments, Швейцария) по схеме «шар-диск» с использованием шаров диаметром 3 мм, изготовленных из нитрида кремния Si_3N_4. Нагрузка на контртело составляла 5 Н. Линейная скорость скольжения – 10 см/с. Путь трения – 80-100 м. При испытаниях применялось моторное масло Nissan SAE 5W-40. Исследования аморфности покрытия проводились с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM 2100 (JEOL, Япония). Для измерений параметров шероховатости по EN ISO 13565-2:1996 использовался измерительно-вычислительный комплекс «Профиль». Адгезия покрытия DLCPateks к стали ШХ15 измерялась сканирующим нанотвердомером НаноСкан-3D (Россия) методом скреч-тестирования (scratch test) с определением нагрузки начала разрушения при продольном перемещении и переменном её усилии на алмазный индентор.

Результаты и обсуждение. Эффективность использования ФПУ основана на возможности локального нанесения покрытия в заданной зоне, а также повторном его нанесении после проверки на тест-план при недостаточной толщине.

Анализ результатов наноиндентирования выявил, что с повышением на-

грузки и, соответственно, с увеличением контактной глубины твердость уменьшается, что характеризует покрытие DLCPateks как градиентное. В пределах одной нагрузки твердость изменяется от 14 ГПа до 23 ГПа, что свойственно многокомпонентным покрытиям. Усредненные свойства покрытия DLCPateks: нанотвердость – 18 ГПа, модуль Юнга – 127 ГПа, упругое восстановление – 87%. На рис. 1 представлена диаграмма индентирования покрытия DLCPateks. Стойкости поверхностного слоя к упругой деформации (индекс пластичности) HIT/Er составляет 0,14. Модуль Юнга стали ШХ15 равен 211 ГПа. Высокое значение индекса пластичности обеспечивает повышенный ресурс в условиях циклических нагрузок, а близость значений модулей упругости покрытия и подложки способствует снижению технологических напряжений на поверхности раздела и повышению адгезионной прочности. На рис. 2 приведена диаграмма, характеризующая падающий характер изменения коэффициента трения (нижняя кривая) со временем покрытия DLCPateks. Среднее значение коэффициента трения составляет 0,024.

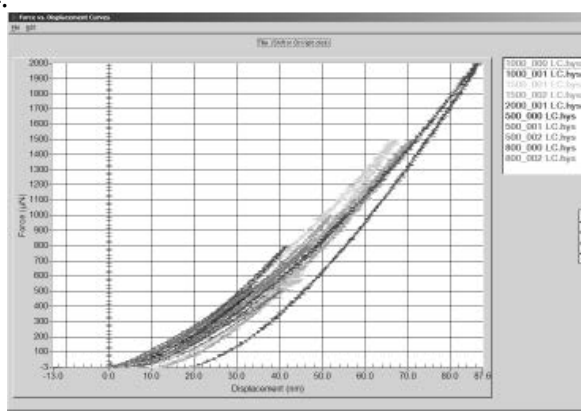


Рис. 2. Диаграммы индентирования F-h при разных нагрузках покрытия DLCPateks

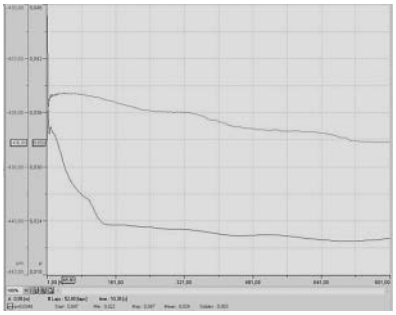
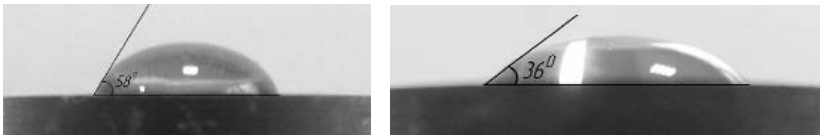


Рис. 3. Изменение коэффициента трения со временем покрытия DLCPateks

Исследования, проведенные с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM 2100 (JEOL, Япония), показали, что покрытие DLCPateks является аморфным (рис. 3) и представляет структуру с размером элементов 60-100 Å. Аморфное (стеклообразное) состояние материала покрытия (в отличие от кристаллического) характеризуется отсутствием границ зерен и дислокационных дефектов, обеспечивает максимально эффективное заполнение впадин профиля подложки.

Исследованиями краевого угла смачивания исходной стали ШХ15 без по-

крытия и с покрытием для разных жидких материалов было доказано, что покрытие.



а *б*

Рис. 4. Краевой угол смачивания, где а – без покрытия; б – с покрытием DLCPateks (OCA 15EC, DataPhysics Instruments GmbH, Германия)

DLCPateks обеспечивает более гидрофильные свойства поверхности (имеет меньший угол смачивания). Это ведет к повышению поверхностной энергии, которая увеличивает смачиваемость топлива и, соответственно, его смазывающую способность.

Адгезия покрытия DLCPateks к стали ШХ15 определялась методом скреч-тестирования в соответствии с ISO 20502:2005. Измеряемая нагрузка, при которой глубина вхождения индентора в композицию «покрытие-подложка» перестаёт плавно расти, указывает на момент разрушения покрытия и характеризует его адгезию к подложке. Нагрузка разрушения покрытия DLCPateks толщиной 1,2 мкм составила 20 мН.

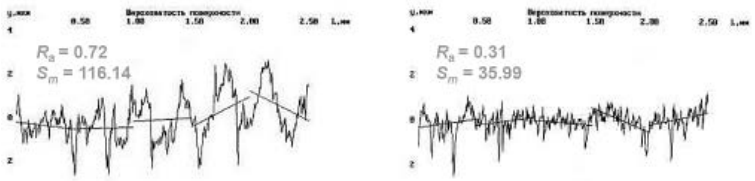
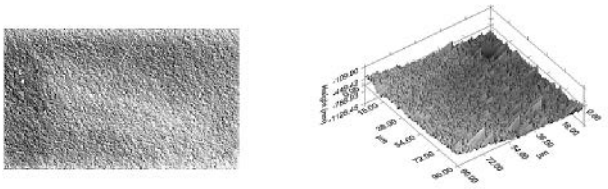


Рис. 5. Профилограммы поверхности, где а – до нанесения покрытия R_a=0,72; R_{max}=5,07; S_m=116,14; б – после нанесения покрытия R_a=0,31; R_{max}=3,47; Sm=35,99 (MarSurf M 300 (Mahr GmbH, Германия)

Для измерений параметров шероховатости по EN ISO 13565-2:1996 использовался измерительно-вычислительный комплекс «Профиль». При сравнении опорных кривых после ФПУ параметр R_{pk}, характеризующий высоту выступов изнашивающихся при приработке, уменьшился в 1,3 раза; параметр R_k, характеризующий основу профиля уменьшился в 3,9 раза.

Исследования, проведенные на просвечивающем электронном микроскопе ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик показали, что после нанесения покрытия DLCPateks на поверхности полностью отсутствуют следы от предшествующей обработки (вид исходной поверхности на рис. 1а). На рис. 5, представлена нанотопография поверхности с покрытием DLCPateks, полученная методом сканирующей зондовой микроскопии. После нанесения покрытия полностью исчезли «гребни» чередования впадин и выступов рельефа (первоначальный вид рис. 1б).

Исследования трехмерной топографии поверхности с использованием прибора MarSurf WS1 фирмы Mahr GmbH (Германия) зоны перехода покрытие DLCPateks –подложка из стали ШХ15 также показали, что после нанесения покрытия обеспечивается залечивание глубоких впадин поверхностного рельефа (рис. 6).



а *б*

Рис. 6. Вид поверхности после нанесения покрытия DLCPateks, x5000 (а), нанотопография покрытия DLCPateks (TI 750Ubi, Hysitron, США) (б)

При исследовании электрических свойств покрытия DLCPateks определено его удельное электрическое сопротивление, которое составляет 10-6 Ом·м. Данные диэлектрические характеристики покрытия должны обеспечивать отсутствие электрохимических и электромеханических явлений при трении.

Экспериментальные стендовые испытания на соответствие допускам тест-планов доказали возможность использования технологии ФПУ с нанесением покрытия DLCPateks при восстановлении штоков и клапанов мультипликатора, игл распылителя и клапанов форсунки топливных систем Common Rail. В настоящее время детали типа плунжер и призма с покрытием DLCPateks проходят испытания на ООО УК «Алтайский завод прецизионных изделий» (Барнаул) на безмоторном стенде Hartridge Cri-PC.

Выводы

1. Наиболее перспективными способами упрочнения и восстановления деталей топливной аппаратуры являются процессы, исключающие последующую абразивную обработку, например, процесс ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия DLCPateks.
2. Эффективность алмазоподобного покрытия DLCPateks определяется его аморфным состоянием, гидрофильными свойствами, оптимальными физико-механическими, трибологическими и диэлектрическими характеристиками, снижением параметров шероховатости, обеспечением повышенной адгезии.

Библиографический список

1. Антипов В.В. Износ плунжерных пар и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. М.: Машиностроение. 1972. 177 с.

2. Аксенов А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. М.: Машиностроение. 1977. 152 с.

3. Бахтиаров Н.И., Логинов В.Е. Производство и эксплуатация прецизионных пар. М.: Машиностроение. 1979. 203 с.

4. Лозовский В.Н. Надежность и долговечность золотниковых и плунжерных пар. М.: Машиностроение. 1979. 135 с.

5. Аксенов А.Ф., Лозовский В.Н.Износостойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов. М.: Транспорт. 1986. 239 с.

6. Бодров А.С., Катунин А.А., Маркин А.С. и др. Исследование причин выхода из строя иглы распылителя дизельных топливных форсунок // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Материалы МНТК. 2017. Вып. 1. Тула. С. 34-40.

7. Мылов А.А., Шавыкин Ю.А. Комплектование прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей //Машиностроение и инженерное образование. N3. 2008. С. 55-63.

8. Tsui T.Y. Nanoindentation and nanoscratching of hard carbon coatings for magnetic disks /Tsui T.Y., Pharr G.M., Oliver W.C., Bhatia C.S., White R.L., Anders S., Anders A., Brown I.G. //Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 383 (1995). 767-772.

9. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour /Leyland A., Matthews A. //Wear. 2000. 246. N1-2. 1-11.

10. Адигамов Н.Р., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Шарифуллин С.Н. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей //Сварочное производство. 2016. N 2. С. 49-51.

11. Sharifullin S.N. Improving the quality indicators fuel pump of plasma technology /S.N. Sharifullin, A.S. Pirogova //IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2017. 789.

12. Solovev R.Y. Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines /R. Y. Solovev, S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. 669.

13. Sharifullin S.N., Dunayev A.V. On the mechanism of formation of wear-resistant coatings on the friction surfaces of technical products in the presence of these drugs Tribo // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016).

14. Dounaev, A., Sharifullin, S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31 (2). 272-276.

15. SharifullinS.N. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma /S. N. Sharifullin, N. R. Adigamov, N. N. Adigamov, R. Y. Solovev, K. S. Arakcheeva //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. 669.

16. Kadyrmetov A.M. Features of thermal processes of plasma deposition and hardening of coatings with external modulation parameters of the arc / A.M. Kadyrmetov, S.N. Sharifullin, A.F. Maltsev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016).

17. Сагин С.В. Триботехнические процессы, протекающие в топливной аппаратуре высокого давления судовых дизелей. //Проблеми техніки. 2013. N 2. С. 33-42.

18. Бодров А.С., Катунин А.А., Марки А.С. н и др. Исследование причин выхода из строя иглы распылителя дизельных топливных форсунок. //Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Материалы МНТК. 2017. Вып. 1. Тула. С. 34-40.

19. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости плунжерных пар. Инженерия поверхности и реновация изделий. //Материалы 10-й МНТК. 24-28 мая 2010 г. – Киев: АТМ Украины. 2010. С. 194 – 196.

20. Тимофеев С.С., Мовшович А.Я., Остапчук В.Н. Повышение износостойкости деталей топливной аппаратуры тепловозных двигателей. //Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции. 2006. Ялта-Киев. С. 143-145.

21. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Восстановление работоспособности плунжерных пар. //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. N1. С. 23-24.

22. Гайдар С.М. Восстановление рабочих параметров плунжерных пар и повышение надежности топливной системы дизельных двигателей. //Международный технико-экономический журнал. 2010. N1. С. 54-58.

23. Скобло Т.С., Клочко О.Ю., Сидашенко А.И., Плугатарев А.В., Олейник А.К. Исследование влияния ультрадисперсных алмазов при восстановлении и упрочнении деталей узлов топливной аппаратуры // Проблеми трибології (Problems of Tribology). 2015. N1. С. 106-111.

24. Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Повышение адгезии гальванических композитных покрытий, используемых при восстановлении плунжерных пар ТНВД. Труды ГОСНИТИ. М.: 2015. Т. 119. Ч 1. С. 54-60.

25. Габитов И.И., Сайфуллин Р.Н., Валиев А.Р. Упрочнение клапанных узлов электрогидравлических форсунок дизелей при ремонте. //Упрочняющие технологии и

покрытия. 2017. N7. С . 328-335.

26. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. – Санкт-Петербург: изд-во Политехнического ун-та, 2013. 406 с.

27. Загородских Б.П., Лялякин В.П., Плотников П.А. ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей // Москва, Росинформагроте 2006. 89 с.

References.

1. Antipov V.V. Wear of plunger pairs and violation of the characteristics of diesel fuel equipment /V.V. Antipov. M .: Mechanical engineering. 1972. 177.

2. Aksenov A.F. Friction and wear of metals in hydrocarbon liquids /A.F. Aksenov. - M .: Mechanical engineering. 1977. 152.

3. Bakhtiarov N.I. Production and operation of precision pairs /N.I. Bakhtiarov, V.E. Loginov. M.: Mechanical engineering. 1979. 203.

4. Lozovsky V.N. Reliability and durability of spool and plunger pairs /V.N. Lozovsky. - M .: Mechanical engineering. 1979. 135.

5. Aksenov A.F. Wear resistance of aviation fuel and hydraulic units /A.F. Aksenov, V.N. Lozovsky. Moscow: Transport. 1986. 239.

6. Bodrov A.S. Investigation of the causes of failure of the spray nozzle of diesel fuel injectors /A.S. Bodrov, A.A. Katunin, A.S. Markin, et al., "Problems of the study of systems and means of motor transport." Materials of MNTK. 2017. Issue. 1. Tula. 34 - 40.

7. Mylov A.A. Accumulation of precision pairs of fuel equipment for diesel engines /A.A. Mylov, Yu.A. Shavykin // Mechanical engineering and engineering education. N3. 2008. 55-63.

8. Tsui T.Y. Nanoindentation and nanoscratching of hard carbon coatings for magnetic disks /Tsui T.Y., Pharr G.M., Oliver W.C., Bhatia C.S., White R.L., Anders S., Anders A., Brown I.G. //Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 383 (1995). 767-772.

9. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour /Leyland A., Matthews A. //Wear. 2000. Vol. 246. N1 2. 1-11.

10. Adigamov N.R. Plasma technologies in increasing the efficiency of high-pressure fuel pumps of diesel engines /N.R. Adigamov, V.P. Lyalakin, R.Yu. Soloviev, S.N. Sharifullin. // Welding production. 2016. N2. 49-51.

11. SharifullinS.N. Improving the quality indicators fuel pump of plasma technology /S.N. Sharifullin, A.S. Pirogova //IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2017. V. 789. doi:10.1088/1742-6596/789/1/012051

12. Solovev R.Y. Plasma technology for increase of operating high pressure fuel pump diesel engines /R.Y. Solovev, S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. doi:10.1088/1742-6596/669/1/012050.

13. Sharifullin S.N. On the mechanism of formation of wear-resistant coatings on the friction surfaces of technical products in the presence of these drugs Tribo / S.N. Sharifullin, A.V. Dunayev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134 (2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012025.

14. Dounaev, A., Sharifullin S. Friction surfaces modification using tribo-compounds (2014) World Applied Sciences Journal, 31(2), 272-276.

15. Sharifullin S.N. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma /S.N. Sharifullin, N.R. Adigamov, N.N. Adigamov, R.Y. Solovev, K.S. Arakcheeva //IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. doi:10.1088/1742-6596/669/1/012049.

16. Kadyrmetov A.M. Features of thermal processes of plasma deposition and hardening of coatings with external modulation parameters of the arc / A.M. Kadyrmetov, S.N. Sharifullin, A.F. Maltsev //IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 134

(2016). doi:10.1088/1757-899X/134/1/012009.

17. Sagin S.V. Tribotechnical processes occurring in the fuel equipment of high pressure marine diesel engines /S.V. Sagin. //Glimpses of technology. 2013. N2. 33-42.

18. Bodrov A.S. Investigation of the causes of failure of the needle of the atomizer of diesel fuel injectors /A.S. Bodrov, A.A. Katunin, A.S. Markin and etc. // Problems of research of systems and means of motor transport. Materials MNTC. 2017. Vol. 1. Tula. 34-40.

19. Timofeev S.S. Increase of wear resistance of plunger pairs. Surface engineering and renovation of products /S.S. Timofeev. //Proceedings of 10-th international science-technical conference. May 24-28, 2010. -Kyiv: ATM of Ukraine. 2010. 194-196.

20. Timofeev S.S. Improvement of wear resistance of parts of fuel equipment of diesel engines /S.S. Timofeev, A.Y. Movshovich, V.N. Ostapchuk/ //surface Engineering and renovation of products. Materials of the 6th international scientific and technical conference. 30.05-01.06. 2006. Yalta-Kiev. 143-145.

21. Lebedev A.T. Recovery of the plunger /A.T. Lebedev, P.A. Lebedev. // Mechanization and electrification of agriculture. 2010. N1. 23-24.

22. Gaidar S.M. Restoration of the operating parameters of plunger pairs and improving the reliability of the fuel system of diesel engines /S.M. Gaidar. //The international technical-economic journal. 2010. N1. 54-58.

23. Skoblo T.S. A study of the influence of ultradispersed diamonds with the restoration and hardening of parts of the nodes of fuel equipment /T.S., Skoblo, O. Y. Klochko, A.I., Sidorenko, A.V. Plugatarev, A.K. Olejnik. //Problems of Tribology. 2015. N1 106-111.

24. Jackin C. S. Increase of adhesion of electroplated composite coatings used in the restoration plunger pairs fuel pump /S.U. Jacquin, M.N. Krasnova, N.A. Pen'kov, A.I. Krasnov. – Proceedings of GOSNITI. Moscow: 2015. T. 119. H 1. 54-60.

25. Gabitov I.I. Hardening of valve assemblies electro-hydraulic injectors of diesel engines at repair /I.I. Gabitov, R.N. Saifullin, A.R. Valiev. // Hardening technology and coatings. 2017. N7. 328-335.

26. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topolyanskii P.A. Plasma Technology. Saint-Petersburg. Publishing of the Polytechnic University. 2013. 406.

27. Zagorodsky B.P. Lyalyakin V.P., Plotnikov P.A. Repair and regulation of fuel injection equipment tractor and combine diesels // Moscow, 2006 Rosinformagrotekh. 89.

УДК 621.791.792

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ КОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ПРОВОЛОК

Ильнур Илдарович Загиров, кандидат технических наук, e-mail:
Башкирский государственный аграрный университет,
Российская Федерация, zagirych22@mail.ru;
Андрей Геннадьевич Игнатьев, доктор технических наук, профессор
Южно-Уральский государственный университет,
г. Челябинск, Российская Федерация; e-mail: ignatpbk.ru;
Артур Павлович Павлов, кандидат технических наук,
Башкирский государственный аграрный университет»,
г. Уфа, Российская Федерация; e-mail: artlilimail@mail.ru;
Александр Юрьевич Костюков, кандидат технических наук,
Федеральный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация

Реферат. *Известно, что на усталостную прочность деталей существенное влияние оказывают остаточные напряжения. Это особенно существенно для валов, восстановленных различными способами. Электроконтактные способы восстановления обоснованно относят к числу наиболее эффективных, а присадочный материал в форме стальных проволок является наиболее доступным, удобным, не требует предварительной подготовки и раскроя. Промышленность выпускает проволоки любого диаметра и химического состава. Остаточные напряжения в металлопокрытиях, сформированных электроконтактной приваркой проволок из углеродистых и легированных сталей исследованы недостаточно. Поэтому в данной работе поставлена цель – определить экспериментально остаточные напряжения при рассматриваемом способе восстановления и сравнить полученные данные с другими способами восстановления. Для измерения остаточных напряжений применялся метод пенетрации, относящийся к неразрушающим методам контроля. Опыты проводились на образцах диаметрами 57 мм из сталей 45 и 30ХГСА, восстановленных соответственно проволоками из сталей 65Г и 30ХГСА. Было установлено, что значения в образце из конструкционной стали значения окружных и осевых остаточных напряжений незначительные по величине, сжимающие, равные соответственно – 30-33 МПа. В покрытиях из легированной стали 30ХГСА остаточные напряжения соответственно равны 32-35 МПа и – 37-40 МПа. В выполненной работе полученные результаты сравниваются с литературными данными по многим известным способам восстановления. Сравнение показывает, что способ электроконтактной приварки стальных проволок является одним из немногих способов восстановления, при котором в покрытии формируются благоприятные остаточные напряжения. Такой характер остаточных напряжений объясняется термомеханическим воздействием на присадочный металл при осадке разогретой присадочной проволоки.*

Ключевые слова: *электроконтактная приварка, металлопокрытие, проволока, остаточные напряжения*

COMPARATIVE STUDY OF RESIDUAL STRESSES IN THE COATINGS FORMED BY THE CONTACT WELDING OF WIRES

Ilnur I. Zagirov, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of mechanics and engineering graphics, Federal state budgetary educational institution of higher education "Bashkir state agrarian University",
Andrey G. Ignatiev, doctor of technical Sciences, Professor of technical mechanics Department, Federal state Autonomous educational institution of higher professional education "South Ural state University",
Artur P. Pavlov, candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of metal technology and repair of machinery,
Federal state budget educational institution of higher professional education "Bashkir state agrarian University",

Summary: *it is Known that fatigue strength of parts is significantly influenced by residual stresses. This is especially important for shafts restored in various ways.*

Electrocontact methods of restoration reasonably belong to number of the most effective, and additive material in the form of steel wires is the most accessible, convenient, does not demand preliminary preparation and cutting. The industry produces wires of any diameter and chemical composition. Residual stresses in metal coatings formed by electrocontact welding of wires from carbon and alloyed steels have not been studied sufficiently. Therefore, in this paper the aim is to determine experimentally the residual stresses in the considered method of recovery and compare the obtained data with other recovery methods. The method of penetration related to non-destructive testing methods was used to measure residual stresses. Experiments were carried out on samples with diameters of 57 mm from 45 and 30KHGSA steels welded respectively with wires from 65G and 30KHGSA steels.

It was found that the values in the sample of structural steel values of circumferential and axial residual stresses are insignificant in magnitude, compressive, respectively -30...-33 MPa. In the coatings of alloy steel 30KhGSA residual stresses are respectively equal to 32 ... 35 MPa and -37 ... -40 MPa. In the performed work the obtained results are compared with the literature data on many known methods of recovery. The comparison shows that the method of electric contact welding of steel wires is one of the few ways of recovery in which the coating forms favorable residual stresses. This character of residual stresses is explained by thermomechanical impact on the filler metal during precipitation of the preheated filler wire.

Keywords: *electrocontact welding, metal coating, wire, residual stresses*

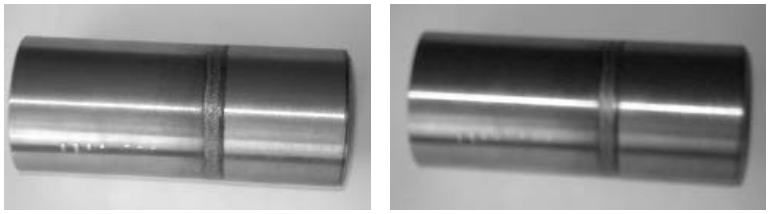
Введение. Неблагоприятные остаточные напряжения в металлопокрытии и зоне термического влияния оказывают отрицательное влияние на надежность и долговечность деталей и являются одной из главных причин снижения циклической прочности восстанавливаемых различными способами валов.

Остаточные напряжения, возникающие при восстановлении деталей элек-

троконтактной приваркой проволокой (ЭКПП), исследованы недостаточно. Некоторые сведения о характере остаточных напряжений даны в работах [1,2].

Цель исследований – определить остаточные напряжение в покрытиях, сформированных ЭКПП стальных проволок и сравнить полученные данные с другими способами восстановления.

Материалы и методы. Для экспериментов были изготовлены цилиндрической формы образцы диаметром 57 мм, изготовленные из следующих материалов: № 1 – сталь 45, № 2 – сталь 30ХГСА. Для приварки на наплавочной установке ЭКП 011-1-02 конструкции ГОСНИТИ применяли присадочные проволоки диаметром 1,8 мм, химических состав которых соответствовал сталям 65Г и 30ХГСА. Образцы приваривались роликом-электродом из бронзы НБТ диаметром 300 мм.



а) *б)*

Рис. 1 Внешний вид образцов а) N1; б) N2

Режим приварки по винтовой линии подбирался из условия обеспечения максимально высокой осевой пластической деформации проволок и обеспечивал прочность сварного соединения, равную прочности основного металла образцов. Приварка осуществлялась на рациональных режимах: для стали 45 I=7,2 кА; F=1,3 кН; tИ=0, 04с; для стали 30ХГСА соответственно I=7,4 кА; F=1,7 кН; tИ=0, 04с.

Остаточные напряжения в поверхностном слое образцов с нанесенным покрытием определяли разработанным в ЧГАА (в настоящее время ФГБОУ ВО ЮУрГАУ) методом, основанным на использовании упругопластического контактного взаимодействия (метод пенетрации). Принцип метода заключается в использовании закономерностей взаимосвязи между деформированным состоянием поверхности в условиях локального (точечного) упругопластического контактного нагружения и остаточными напряжениями в поверхностном слое детали. Метод относится к неразрушающим способам контроля, является менее трудозатратным и дает возможность определять остаточные напряжения в конкретной точке поверхности [4-6]. В качестве индентора использовали шарик диаметром 10 мм, усилие вдавливания составляло 1471,3 Н. Измерение предела текучести металла покрытия выполняли при тех же параметрах вдавливания индентора.

Для измерения перемещений применяли оптический метод электронной спекл-интерферометрии с регистрацией нормальной компоненты вектора перемещения, а в качестве исходной информации — нормальные деформационные перемещения.

Результаты измерения остаточных напряжений и их обсуждение.

Схема замеров остаточных напряжений на поверхности металла покрытия представлена на рисунке 2.

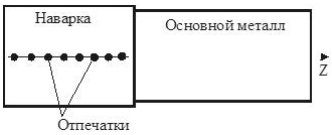


Рис. 2 Схема измерений остаточных напряжений на поверхности образца методом пенетрации

Таблица 1

Предел текучести материалов

№ образца	Основной металл		Металлопокрытия	
	Материал	Предел текучести σ_T, МПа	Материал	Предел текучести σ_T, МПа
1	Сталь 45	455±20	ПК-2 (Нп-65Г)	1690±70
2	Сталь 30ХГСА	610±20	Нп-30ХГСА	1500±50

На рис. 3 показаны результаты измерений остаточных напряжений.

При наварке покрытия из проволоки ПК-2 на основу из стали 45 (рис. 3а) в центральной области покрытия действуют незначительные по величине и благоприятные по направлению окружные σ_0 и осевые σ_z остаточные напряжения. В более удаленных от концов наплавленных поясков зонах металлопокрытия средние величины остаточных напряжений составляют σ_0= –0,07$\sigma_т$, σ_z = – 0,09 $\sigma_т$ (в долях предела текучести основного металла $\sigma_т$) или в абсолютных значениях σ_0 = – 30-33 МПа, σ_z = –38-42 МПа.

Наплавка покрытия из проволоки Нп-30ХГСА на основу из стали 30ХГСА (рис. 3б) привела к появлению в центральной области покрытия незначительных растягивающих окружных σ_0 и сжимающих осевых σ_z остаточных напряжений. В удаленной от краев области покрытия средние величины остаточных напряжений составляют σ_0 = 0,06 $\sigma_т$, σ_z = – 0,06 $\sigma_т$ в долях предела текучести основного металла или в абсолютных значениях σ_0 = 32-35 МПа, σ_z = –37-40 МПа.

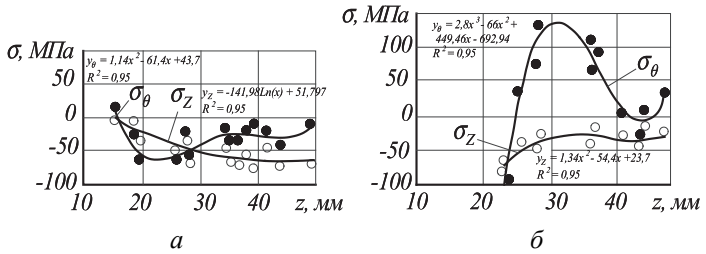


Рис. 3 Остаточные напряжения на поверхности металлопокрытий, определенные методом пенетрации: а) ЭКП проволокой ПК-2; б) проволокой Нп-30ХГСА

И эти исследования показывают, что на поверхности наплавленных ЭКПП образцов действуют незначительные по величине и благоприятные по направлению остаточные напряжения, средние значения которых согласуются со значениями, полученными по методике [6].

При восстановлении валов контактной приваркой стальных лент разогретая импульсами тока присадочная лента остывает в условиях стеснения деформаций. В отличие от проволок, пластическая деформация лент при

наплавке несущественна и недостаточна для снятия остаточных напряжений. В результате, в металлопокрытии формируются предельной величины остаточные растягивающие напряжения. Более низкие, чем при приварке металлических лент, остаточные растягивающие напряжения формируются при напекании порошковых материалов, что объясняется отсутствием связей между частицами порошка.

Для сравнения в таблице 2 представлены данные по остаточным напряжениям в покрытиях, сформированных электроконтактной приваркой различных присадочных материалов. Данные заимствованы из источников [1, 6-14.].

Таблица 2

Остаточные напряжения на поверхностях деталей, восстановленных электроконтактными способами с применением присадочного материала – проволоки

Материал		Остаточные напряжения (средние значения)	
Основа	Покрытие	σ_Z / σ_T	σ_θ / σ_T
Сталь 45	Сталь 65Г ПК-2 две проволоки	0,124	-0,079
30ХГСА	Проволока 30ХГСА две проволоки	0,142	-0,099
Сталь 45	Сталь 45 ПК-2 две проволоки	-0,03	0,04
Сталь 45	Сталь 65Г ПК-2 две проволоки с растяжением	0,022	-0,01
30ХГСА	Проволока 30ХГСА две проволоки	0,081	-0,017

Таблица 3

Остаточные напряжения на поверхностях деталей, восстановленных электроконтактными способами с применением присадочного материала – ленты

Материал		Остаточные напряжения (средние значения)	
Основа	Покрытие	σ_Z / σ_T	σ_θ / σ_T
ВЧ 60	Сталь У8А	0,73	0,71
Сталь 45	Сталь 45 (лента)	0,88	0,87
Сталь 20Х13	Сталь 20Х13 (лента)	0,72	0,64
Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т (лента)	0,78	0,62
Сталь 45	12Х18Н10Т, ГОСТ 5632-72, лента	0,93	0,9
Сталь 45	Сталь 45, Приварка ленты 2 прохода	0,25	0,21
Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т (лента)	0,78	0,64

Можно заметить, что при контактной наплавке металлических лент и напекании металлических порошков различного состава в покрытиях формируются очень большие по величине, неблагоприятные по направлению растягивающие остаточные напряжения термической природы.

Неблагоприятные остаточные напряжения формируются и в металлопокрытиях, нанесенных электродуговыми способами.

При всех вариантах ЭКПП в нанесенном слое остаточные напряжения практически нулевые, в некоторых случаях они, хоть и небольшие по величине, но благоприятные, сжимающие. Термические по физической природе напряжения при рассматриваемом способе восстановления в момент

их зарождения снимаются в результате термомеханического воздействия со стороны ролика-электрода на разогретый до пластического состояния присадочный металл.

Таблица 4

Остаточные напряжения на поверхностях деталей, восстановленных электроконтактными способами с применением присадочного материала – порошки и комбинированные присадки

Материал		Остаточные напряжения (средние значения)	
Основа	Покрытие	σ_Z / σ_T	σ_θ / σ_T
ВЧ 60	ПЖ-2+металлическая сетка	0,41	0,52
Сталь 45	ПР-Х11Г4СР (порошок + металлическая лента)	0,67	0,68
Сталь 45	СЧ-18 (порошок)	0,92	0,88
ВЧ 60	ПЖ-2	0,14	0,49
Сталь 65Г	ПГ12Н-02, ТУ 48-19-383 толщина слоя 1 мм	0,27	0,24
Сталь 12Х18Н10Т	Сетка, 3 слоя, сталь 12Х18Н10Т	0,09	-0,15
Сталь 12Х18Н10Т	Комбинированная присадка (порошок 316L + сетка 12Х18Н10Т + 10% чугунного порошка КЧ30-6)	0,08	-0,12
Сталь 45	ПР-Х11Г4СР (Порошок + металлическая сетка)	0,67	0,68

Таким образом, присадочный материал в форме проволок выгодно отличается в плане формирования остаточных напряжений от металлических лент и порошков. Этим предотвращается значительное снижение усталостной прочности восстановленных деталей.

На основании результатов измерений сделан вывод о преимущественности по критерию «остаточные напряжения» применения для восстановления шеек коленчатых валов технологии ЭКПП проволоки при условии обеспечения качества приварки. Возможно восстановление детали ЭКП ленты, однако при этом необходимо обеспечить снижение остаточных напряжений применением в технологическом процессе ППД.

Благопрятные остаточные напряжения в покрытиях, нанесенных ЭКПП проволок, являются одной из причин меньшего, чем при приварке лент и порошков, снижения усталостной прочности восстановленных валов.

Выводы.

1. В наплавленном ЭКП слое формируются, в отличие от контактной приварки стальных лент и порошков, благоприятные сжимающие напряжения.

2. Методика, основанная на методе пенетрации, относится к неразрушающим методам контроля, менее трудозатратна и позволяет определять остаточные напряжения в конкретной точке на поверхности восстановленной детали.

Библиографический список

1. Латыпов Р.А., Булычев В.В., Бурак П.И. и др. Электроконтактная приварка. Теория и практика. // Курск: Университетская книга. 2016. 392 с.

2. Ибрагимов, В.С., Мамлеев Ч.М., Нафиков М.З. Электроконтактная наплавка автотракторных валов // Техника в сельском хозяйстве. 1980. N12. С.40-42.

3. Нафиков М.З., Загиров И.И., Юнусбаев Н.М., Наталенко В.С., Шакиров И.Р.

Контактная приварка растянутой присадочной проволоки // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. Т. 13. N5 (149). С. 198-204.

4. Игнатьев А.Г., Третьяков А.А. Измерение остаточных напряжений в восстановленных деталях с использованием конического индентора // Агропродовольственная политика России. 2015. N1(13). С. 48-51.

5. Игнатьев А.Г., Третьяков А.А. Новая методика измерения остаточных напряжений в восстановленных деталях с использованием конического индентора // Контроль. Диагностика. 2015. N6. С. 26-30.

6. Игнатьев А.Г. Диагностирование поверхностных остаточных напряжений в металлических покрытиях, нанесенных при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники: дисс. … докт. техн. наук. Челябинск, 2008. 324 с.

7. Фархшатов М.Н. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей сельскохозяйственных техники и оборудования электроконтактной приваркой коррозионностойких и износостойких материалов: дисс. ... докт. техн. наук. Уфа, 2007. 527 с.

8. Нафиков М.З., Загиров И.И., Игнатьев А.Г. Остаточные напряжения в металлопокрытии, нанесенном электроконтактной наплавкой. // Технология металлов. 2008. N9. С. 29-32.

9. Фаюршин А.Ф., Хакимов Р.Р., Багаутдинова И.И., Третьяков А.А. Исследование остаточных напряжений в упрочненных и восстановленных деталях // Ремонт, восстановление, модернизация. 2016. N1. С. 39.

10. Нафиков М.З., Шакиров И.Р., Загиров И.И., Юнусбаев Н.М. Остаточные напряжения в металле покрытия, нанесенного электроконтактной приваркой двух растянутых проволок // / Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. Т. 14. N1 (157). С. 19-22.

11. Нафиков М.З., Загиров И.И., Нуртдинов Д.М и др. Восстановление валов двухзаходной контактной приваркой стальных проволок. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2015. N4. С. 8-11.

12. Нафиков М.З., Загиров И.И, Зайнуллин А.А., Нуртдинов Д.М. Методология выбора рациональных режимов контактной приварки стальных проволок // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Вып. N127. С.192-196.

13. Нафиков, М.З., Загиров И.И. Режимы контактной приварки проволоки 1,8 НК-2. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2012. N2. С. 45-48.

14. Нафиков М.З., Загиров И.И., Игнатьев А.Г. Остаточные напряжения в металлопокрытии, нанесенном электроконтактной наплавкой // Технология металлов. 2008. N9. С. 29-33.

References

1. Latypov R.A. Electrocontact welding. Theory and practice. / R.A. Latypov, V.V. Bulychev, Burak P.I. et al. // Kursk: University book. 2016. 392.

2. Ibragimov V.S. Electrocontact welding of automotive shafts / V. S. Ibragimov, C. M. Mamleev, Nafikov M. Z. // Technique in agriculture. 1980. N12. 40-42.

3. Nafikov M.Z. Contact welding of stretched filler wire./ Nafikov M.Z., Zagirov I.I., Yunusbaev N.M. Natalenko V.S., Shakirov I.R. // Strengthening technologies and coatings. 2017. Vol.13. N5(149). 198-204.

4. Ignatiev A.G., Tretyakov A.A. measurement of residual stresses in restored parts using a conical indenter // Agro-Food policy of Russia. 2015. N1(13). 48-51.

5. Ignatiev A.G., Tretyakov A.A. New technique for measurement of residual stresses in the restored parts using a conical indenter // Control. Diagnostics. 2015. N6. 26-30.

6. Ignatyev A.G. Diagnosis of surface residual stresses in metallic coatings applied during restoration of agricultural machinery parts: Diss. Doct. tech. sciences'. Chelyabinsk, 2008. 324.

7. Farkhshatov M.N. Resource-saving technologies of restoration of details of agricultural machinery and equipment by electrocontact welding of corrosion-resistant and wear-resistant materials: Diss. ... d-RA tekhn. sciences'. Ufa, 2007. 527.

8. Nafikov M.Z. Residual stresses in the metal coating deposited electrocontact welding / Z.M. Nafikov, I. Zagirov, A.G. Ignatiev // Technology of metals. 2008. N9. 29-32.

9. Study of residual stresses in a hardened and recovered items / Faurlin A.F., R.R. Khakimov, I. Bagautdinov, A.A. Tretyakov // Repair, restoration, modernization. 2016. N1. 39.

10. Residual stresses In the metal of the coating deposited by electrocontact welding of two stretched wires // M.Z. Nafikov, I.R. Shakirov, I.I. Zagirov, N.M. Yunusbaev / Reinforcing technologies and coatings. 2018. T. 14. N1(157). 19-22.

11. Nafikov M.Z. Restoration of shafts of the double contact welding steel wires / Z.M. Nafikov, I. Zagirov, D.M. Nurtdinov et al. // Repair, restoration, modernization. 2015. N4. C. 8-11.

12. Nafikov M.Z. Methodology of rational modes selection of steel wire welding [Text] / M. Z. Nafikov, I. Zagirov, A. A. Zaynullin, D. M. Nurtdinov // proceedings of the international Academy of agrarian education. 2013. Vol. N127. 192-196.

13. Nafikov M.Z. modes of wire welding contact 1,8 NK-2 [Text] / M.Z. Nafikov, I. Zagirov // Bulletin of the Bashkir state agrarian University. 2012. N2. 45-48.

14. Nafikov M.Z. Residual stresses in the metal coating deposited electrocontact surfacing / Nafikov M.Z., Zagirov I., Ignatiev A.G. // metal Technology, 2008, N9. C. 29-33.

УДК 629.114.2.01.004.67

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Владимир Михайлович Юдин, доктор технических наук,
Российский государственный аграрный заочный университет,
Московская область, Балашиха, Российская Федерация, vudin2006@mail.ru;
Николай Иванович Веселовский, кандидат технических наук,
Российский государственный аграрный заочный университет,
Балашиха, Московская область, Российская Федерация;
Константин Викторович Кулаков кандидат технических наук,
Российский государственный аграрный заочный университет,
Балашиха, Московская область, Российская Федерация;
Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

В ремонтном производстве широко известны способы восстановления изношенных деталей гальваническими покрытиями. Нами разработана технология восстановления внутренних поверхностей деталей скоростным электролитическим железнением из концентрированного хлористого электролита с использованием вращающейся перфорированной перегородки, позволяющая применять рабочую плотность тока в пределах 100-150 А/дм^2. Для восстановления внутренних поверхностей корпусных и других деталей на ремонтных предприятиях перспективным является применение электролитических покрытий на основе цинка.

Предложено устройство со сборным анодом для уменьшения негативного влияния на электролиз малого диаметра анода при нанесении гальванических покрытий на посадочные отверстия корпусных и других деталей, Устройство позволяет получать качественные покрытия и снизить расход анодов. Наблюдения в производстве и во время лабораторных исследований показали, что при электролитическом железнении на постоянном токе получаются покрытия с меньшей шероховатостью и более высоким реальным (не учитывающим осыпающиеся дендриты) выходом железа по току по сравнению с однофазным асимметричным током амплитудного и фазоимпульсного регулирования. Для подтверждения этого и выявления влияния указанных факторов на электролиз проведена серия опытов. Было установлено, что реальная скорость наращивания железа существенно падает с увеличением угла открытия тиристоров. Повышенное дендритообразование при использовании асимметричного переменного тока, особенно с фазоимпульсным регулированием катодной и анодной составляющих, связано с местным повышением плотности тока, превышающим допустимый для данных условий электролиза предел. Исходя из этого, для железнения с использованием вращающейся перфорированной перегородкой в основное время электролиза нами применяется постоянный ток. Исследования показали предпочтительность применения на начальной стадии

электролиза асимметричного переменного тока. с последующим переходом на постоянный ток.

Ключевые слова: *восстановление, гальванические, покрытия, железнение, цинкование, параметры переменного тока*

THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF ALTERNATING CURRENT WHEN RESTORING PARTS WITH GALVANIC COATINGS

Vladimir M. Judin, Dr. Sc., professor, head of department
Nikolai I. Veselovskiy, Ph.D., associate professor
Konstantin V. Kulakov, Ph.D., associate professors
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Agrarian Correspondence University",

In repair manufacture methods of restoration of the worn out details by galvanic coverings are widely known. We have developed a technology for restoring internal surfaces of parts with high-speed electrolytic ironing from a concentrated electrolyte chloride using a rotating perforated partition, which allows to apply an operating current density of 100 ... 150 A / dm2. To restore the internal surfaces of hull and other parts in repair enterprises, it is promising to use electrolytic coatings based on zinc. We have proposed a device with a prefabricated anode to reduce the negative effect on the electrolysis of the small diameter of the anode during the application of galvanic coatings to the landing holes of hull and other parts. The device allows obtaining high-quality coatings and reducing the consumption of anodes. Our observations during production and laboratory studies have shown that electrolytic doping with direct current produces coatings with a lower roughness and a higher real output of iron (not taking into account the crumbling dendrites) as compared to a single-phase asymmetric current of amplitude and phase-pulse regulation. To confirm this and to identify the effect of these factors on electrolysis, we conducted a series of experiments. It was found that the actual rate of iron build-up significantly decreases with an increase in the thyristor opening angle. Increased dendritic formation with asymmetric alternating current, especially with phase-impulse regulation of the cathode and anode components, is associated with a local increase in the current density exceeding the limit allowed for these electrolysis conditions. Proceeding from this, we use direct current for ironing using a rotating perforated partition during the main time of electrolysis. Our observations in practice and conducted studies have shown the advantage of using an asymmetric alternating current in the initial stage of electrolysis. Thus, at the beginning of electrolytic ironing, it is expedient to conduct the process on an asymmetric alternating current with the subsequent transition to a direct current.

Keywords: *recovery, electroplating, coating, galvanic steeling, zinc, parameters of alternate current*

В ремонтном производстве широко известны способы восстановления изношенных деталей гальваническими покрытиями.

Наиболее широко применяют железнение. Оно обладает хорошими технико-экономическими показателями: исходные материалы и аноды дешевые и недефицитные; высокий выход металла по току (80-95%); скорость осажде-

ния железа составляет 0,2-0,5 мм/ч; толщина твердого покрытия достигает 0,8-1,2 мм; в широких пределах можно регулировать свойства покрытий (микротвердость – 1600-7800 МПа); достаточно высокая износостойкость твердых покрытий, не уступающая износостойкости закаленной стали.

Для защиты от коррозии метизов и других деталей, а также для восстановления посадочных поверхностей малонагруженных деталей в ремонтном производстве применяют цинкование.

Поскольку цинковые покрытия имеют низкую твердость и износостойкость, они имеют ограниченное применение для восстановления изношенных деталей.

При совершенствовании технологических процессов нанесения гальванических покрытий с целью повышения их производительности и качества покрытий исследователи работают в двух направлениях: совершенствование и разработка новых электролитов; совершенствование и разработка новых технологических приемов.

Совершенствованию и разработке новых электролитов посвящено много работ. Однако, следует сказать, что практически во всех случаях это связано с усложнением состава электролитов, их контроля и корректировки.

Перспективным направлением развития является совершенствование и разработка новых технологических приемов нанесения покрытий. Такими приемами могут быть проточное нанесение покрытий, перемешивание электролита, применение периодических токов и другие.

Нами разработана технология восстановления внутренних поверхностей деталей скоростным электролитическим железнением из концентрированного хлористого электролита с использованием вращающейся перфорированной перегородки, позволяющая в 5…10 раз увеличить скорость нанесения покрытий по сравнению с обычным электролитическим железнением в ванне [1].

Рабочую плотность тока устанавливают в пределах 100-150 А/дм2. Продолжительность железнения зависит от требуемой толщины покрытия и выбранных режимов железнения. Скорость нанесения покрытий при данных условиях составляет 17-28 мкм/мин. [2].

Для восстановления внутренних поверхностей корпусных и других деталей на ремонтных предприятиях перспективным, на наш взгляд, является применение электролитических покрытий на основе цинка [3].

В этом случае цинковые покрытия можно наносить из простого сернокислого электролита, который не агрессивен, не окисляется и прост в эксплуатации. Он значительно превосходит по этим показателям электролиты железнения. При этом, в ходе исследований за счет активирования катодной поверхности нам удалось поднять рабочую плотность тока до 100-150 А/дм2. Скорость нанесения цинковых покрытий составляет 16-25 мкм/мин, что более, чем в 50 раз выше, чем при обычном цинковании и соизмеримо со скоростным железнением. Полученные таким образом покрытия имеют невысокую твердость (до 600 МПа) и их можно использовать для восстановления неподвижных соединений.

С целью повышения физико-механических свойств покрытий нами проводятся исследования по получению на основе цинка композиционных покрытий, в состав которых включаются дисперсные частицы оксида алюминия и других твердых материалов [4].

Для уменьшения негативного влияния на электролиз малого диаметра анода при нанесении гальванических покрытий на посадочные отверстия корпусных и других деталей, нами предлагается устройство со сборным анодом (рис.1).

Анод 2 представлен в виде кусков (гранул), размещенных в пластмассовом перфорированном стакане 11 и связанных с токоподводом 12 через установленную в нижней части стакана токоподводящую втулку 13. Стакан 11 размещен соосно катодной поверхности и имеет проходящую соосно через его дно трубку 14, охватывается сменными пластмассовыми втулкой 15 и крышкой стакана 16, на плоской поверхности которой размещены отверстия.

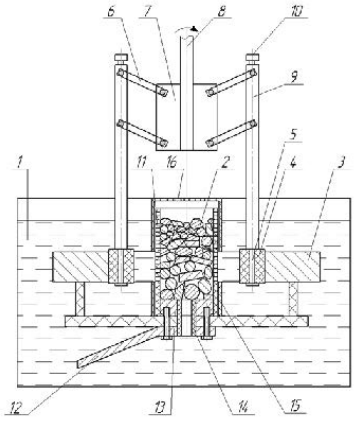


Рис.1. Устройство для нанесения гальванических покрытий со сборным анодом: 1 – ванна с электролитом; 2 – сборный анод; 3 – катод – деталь; 4 – активирующий элемент; 5 – держатель; 6 – пластина; 7 – крестовина; 8 – вал; 9 – шатун; 10 – груз; 11 – стакан; 12 – токоподвод; 13 – втулка; 14 – трубка; 15 – сменная втулка; 16 – крышка стакана.

Анод в виде кусков (гранул) имеет большую площадь поверхности при малом диаметре, который остается стабильным в ходе электролиза. По мере растворения кусков анода происходит их смещение за счет давления верхнего слоя. Сменные пластмассовые втулка 15 и крышка стакана 16 (разной высоты) охватывают цилиндрическую часть стакана 11 и закрывают его перфорацию так, что обеспечивают рациональное направление силовых линий тока между анодом 2 и катодом 3. Трубка 14, проходящая соосно стакану 11 через его дно, вместе с отверстиями на плоской поверхности крышки стакана 16 и открытой перфорацией на цилиндрической поверхности стакана 11, обеспечивает циркуляцию электролита через внутренний объем стакана 11 с кусками анода 2. Активатор, ось вращения которого совпадает с осью анода 2, вращаясь во время электролиза, действует как турбина насоса, существенно интенсифицируя циркуляцию электролита. За счет центробежных сил электролит истекает через перфорацию на цилиндрической поверхности стакана 11 и всасывается через трубку 14 в стакан 11. В случае железнения вместо активатора в устройстве может использоваться перфорированная перегородка.

Устройство позволяет получать качественные покрытия и снизить расход анодов. Проведенные нами наблюдения в производстве и во время лабораторных исследований показали, что при электролитическом железнении из

горячих и холодных хлористых электролитов на постоянном токе получаются покрытия с меньшей шероховатостью и более высоким реальным (не учитывающим осыпающиеся дендриты) выходом железа по току по сравнению с однофазным асимметричным током амплитудного и фазоимпульсного регулирования. Кроме того, более рационально используется электроэнергия. Особенно существенна разница по отношению к асимметричному переменному току с фазоимпульсным регулированием, который в последние годы получил широкое применение благодаря удобному тиристорному управлению анодной и катодной составляющими тока и исключению из электрической цепи реостатов, на которых теряется значительное количество электроэнергии. Очевидно, это связано с большими амплитудными значениями токов при заданных средних токах и наличием бестоковых периодов. Причем, эти параметры меняются при разном сопротивлении электролизера, например, при изменении расстояния между электродами. Происходит некоторое изменение условий электролиза.

Для подтверждения наших теоретических рассуждений и выявления влияния указанных факторов на электролиз нами проведена серия опытов.

Покрытия наносили из хлористого электролита при катодной плотности тока 20 А/дм^2 и $\beta = 7$ в течение 1 часа. Скорость роста покрытия в зависимости от угла открытия тиристоров (φ) оценивали по приращению массы образца (ΔG). Форму тока и угол открытия тиристоров определяли по осциллографу.

Было установлено, что микротвердостъ покрытий практически не зависит от угла открытия тиристоров и формы тока. Реальная скорость наращивания железа (не учитывалась масса осыпающихся дендритов) существенно (до 50%) падает (рис 2; 3) с увеличением угла открытия тиристоров. Причем это происходит не за счет уменьшения выхода железа по току, а за счет повышенного роста дендритов на острых кромках образцов (определяли путем улавливания дендритов).

При нанесении железного покрытия на постоянном токе плотностью 20 А/дм^2 в тех же условиях наблюдалось небольшое дендритообразование и было получено приращение массы образца ΔG =1,4 г, что существенно больше, чем на асимметричном переменном токе.

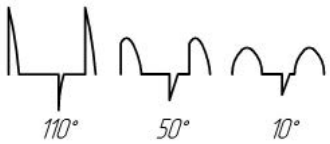


Рис. 2. Зависимость формы тока от угла открытия тиристоров катодной составляющей

Повышенное дендритообразование при использовании асимметричного переменного тока, особенно с фазоимпульсным регулированием катодной и анодной составляющих, связано с местным повышением плотности тока, превышающим допустимый для данных условий электролиза предел.

Исходя из этого, для железнения с использованием вращающейся перфорированной перегородкой в основное время электролиза нами применяется постоянный ток.

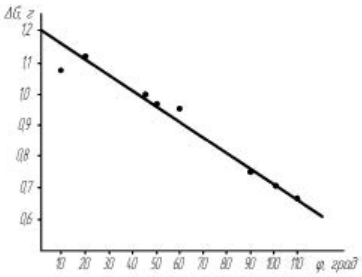


Рис. 3. Влияние угла открытия тиристоров катодной составляющей переменного тока на приращение массы образца: ΔG = приращение массы образца

Что касается начального периода железнения, то наши наблюдения на практике и проведенные предварительные исследования показали предпочтительность применения на начальной стадии электролиза асимметричного переменного тока. В этом случае повышается прочность сцепления железного покрытия с основой. Результаты более стабильны, чем в случае применения постоянного тока. Достигается высокая прочность сцепления покрытия с основой даже при значительной неравномерности распределения тока по катодной поверхности (например при контактном электролитическом железнении), чего нам не удалось достигнуть при использовании постоянного тока.

Таким образом, в начале электролитического железнения целесообразно процесс вести на асимметричном переменном токе с последующим переходом на постоянный ток.

Библиографический список

1. *Юдин В.М., Вихарев М.Н. Нанесение гальванических покрытий при больших плотностях тока // Техника и оборудование для села. 2011. N 5. С. 22-23.*

2. *Юдин В.М. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин гальваническими покрытиями на основе цинка / В.М. Юдин, М.Н. Вихарев // Вестник ОрелГАУ. 2009. N1(16). С. 24-25.*

3. *Веселовский Н.И., Кулаков К.В., Вихарев М.Н. Восстановление деталей гальваническими покрытиями // Вестник РГАЗУ. 2015. N19 (24). С. 63-67.*

4. *Юдин В.М., Кулаков К.В. Установка для нанесения композиционных электрохимических покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 303-305.*

5. *Серебровский В.И., Серебровский В.В., Сафронов Р.И., Калуцкий Е.С. Электроосаждение сплавов на основе железа из хлоридных электролитов // Наука в современном информационном обществе. Материалы V международной научно-практической конференции. 2015. С. 157.*

6. *Серебровский В.И., Серебровский В.В., Сафронов Р.И., Калуцкий Е.С. Электроосаждение универсальных беспористых покрытий из хлоридных электролитов // Электрика. 2015. N4. С. 27-31.*

7. *Серебровский В.И., Серебровский А.В., Коняшенко П.Ю., Джиоев С.И. Восстановление коленчатых валов пусковых двигателей электролитическим железнением на асимметричном токе. // Региональный вестник. 2017. N2(7). С. 3-5.*

8. *Study of the adhesive properties of a coating prepared by deforamtion cladding with a flexible tool. Levantsevich M.A., Maksimchenko N.N., Belyi A.N., Dema R.R., Kadoshnikov V.I., Nefed'ev S.P., Kharchenko M.V., Amirov R.N., Razumov M.S., Serebrovskii V.I. // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. T. 52. N 11-12. C. 779-784.*

9. *Кисель Ю.Е., Кубаткина О.В. Повышение износостойкости деталей дорож-*

но-строительных машин электрохимическими покрытиями // Сборник: Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 98-102.

10. Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е., Лысенко А.Н., Обозов А.А. Повышение износостойкости деталей электрохимическими сплавами на основе железа // Сельский механизатор. 2017. N2. С. 34-35.

References

1. Judin V.M. Plating at High Current Density / V.M. Judin, M.N. Vikharev // "Machinery and Equipment for Rural Area" Journal. 2011. N5. 22-23.

2. Judin V.M. Recovery of parts of farm vehicles electroplated coatings on the basis of zinc / V.M. Judin, M.N. Vikharev // Vestnik OrelGAU. 2009.1(16). 24-25.

3. Veselovskiy N.I. Restoration parts galvanic coatings / N.I. Veselovskiy, K.V. Kulakov, M.N. Vikharev // Vestnik RGAZU. 2015. N19(24). 63-67.

4. Judin V.M. Installation for drawing composition elecrochemical platings / V.M. Judin, K.V. Kulakov // Proceedings GOSNITI. - Vol. 121. M.: 2015. 303-305.

5. Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.V., Safronov R.I., Kalutskii E.S. - Electrodeposition of iron-based alloys from chloride electrolytes// Science in the modern information society. Materials of the V International Scientific and Practical Conference. 2015. 157

6. Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.V., Safronov R.I., Kalutskii E.S. - Electrodeposition of Universal Non-porous Coatings from Chloride Electrolytes // Electrics. 2015. N4. 27-31

7. Serebrovskii V.I. Recovery of the crankshafts of the starting motors by electrolytic ironing of an asymmetric current / Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.A., Konyashenko P.Y., Dzhioev S.I.// Regional Gazette. 2017. N2 (7), 3-5.

8. Study of the adhesive properties of a coating prepared by deforamtion cladding with a flexible tool. Levantsevich M.A., Maksimchenko N.N., Belyi A.N., Dema R.R., Kadoshnikov V.I., Nefed'ev S.P., Kharchenko M.V., Amirov R.N., Razumov M.S., Serebrovskii V.I. // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. T. 52. 11-12. 779-784.

9. Kisel Y.E., Kubatkina O.V. Elevation of wear resistance of road building equipment parts by electrochemical coatings// Collection: Science and Innovations in Construction (to the 45th anniversary of the Department of Construction and Municipal Economy): the collection of reports of the International scientific and practical conference. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2017, 98-102.

10. Guryanov G.V., Kisel Y.E., Lysenko A.N., Obozov A.A. Elevation of wear resistance of details by electrochemical alloys based on iron // Agricultural machine-operator. 2017. N2, 34-35.

УДК 621.9.048

ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ЭИЛ: ВЛИЯНИЕ НА ЭРОЗИЮ И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННОГО СЛОЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

***А.Д. Верхотуров*, доктор технических наук, профессор**
Главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем ДВО РАН (г. Хабаровск)
Валерий Игоревич Иванов, кандидат технических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Леонид Федорович Прядко, доктор технических наук, Институт проблем материаловеденияНациональной Академии наук Украины, г. Киев, e-mail: leopryad6@gmail.com;
Леонид Алексеевич Коневцов, кандидат технических наук, Институт материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН, г. Хабаровск, e-mail: konevts@narod.ru

Аннотация. *Работа посвящена анализу результатов многолетних исследований авторов процесса электроискрового легирования (ЭИЛ) при использовании различных электродных материалов. Ее целью является исследование эрозии материалов электродов от физико-химических свойств анодных материалов при ЭИЛ на различных установках, режимах обработки, в различных межэлектродных средах и установление зависимостей для использования при определении критериев эффективности ЭИЛ. Базой исследования является методологический подход к установлению возможности формулировки критериев, определяющих эффективность ЭИЛ и свойства ЛС в зависимости от природы материала электродов. В качестве материала подложки использовалась сталь 45. Анодными материалами служили тугоплавкие d-металлы IV-VI групп: Ti, V, Cr, Zr, Nb, Vo, Hf, Ta, W; а также d-металлы: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Ag, Cd, Re, Os, Ir, Pt, Au; p-металлы: Al, Bi, Sb, Sn, Pb. Обработка методом ЭИЛ образцов выполнена на установках типа Электром, ЭФИ, ЭЛФА, Элитрон, ИМЭИ, Корона, для их исследования использованы современные отечественные и зарубежные оборудование и приборы. Выполненными исследованиями показана возможность формулировки критериев, определяющих эффективность процесса ЭИЛ и свойства легированного слоя ЛС в зависимости от свойств d-элементов, определяемых положением их в Таблице Менделеева и числом (s+d)-электронов электродных материалов. Аналогичный подход определения критериев эффективности может быть рекомендован и для других высокоэнергетических процессов воздействия на материалы.*

Ключевые слова: *электроискровое легирование, электроды, эрозия, свойства.*

ELECTRODE MATERIALS AT EIL: EFFECT ON EROSION AND THE PROPERTIES OF THE DEPOSITED LAYER AND THE CRITERIA OF EVALUATION OF EFFICIENCY

A.D. Verkhoturov,
Institute water and environmental problems of the FEB RAS (Khabarovsk)
V.I. Ivanov, Federal public budgetary scientific institution
"Federal Scientific Agroengineering Center VIM"
L.F. Pryadko,
Institute of problems materials science of National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev),
L.A. Konevtsov,
Institute of materials science KhabarovskFEB RAS scientific center (Khabarovsk)

Annotation. *The work is devoted to the analysis of the results of many years of research by the authors of the electrospark alloying (ESA) using various electrode materials. Its purpose is to study the erosion of electrode materials from the physicochemical properties of anode materials under ESA at various facilities, processing regimes, in various interelectrode environments, and to establish dependencies for use in determining ESA effectiveness criteria. The basis of the research is a methodological approach to establishing the possibility of formulating criteria that determine the efficiency of ESA and the properties of the doped layer, depending on the nature of the material of the electrodes. As the material of the substrate, steel 45 was used. Anodic materials were refractory d-metals of groups IV-VI: Ti, V, Cr, Zr, Nb, Vo, Hf, Ta, W; as well as d-metals: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Ag, Cd, Re, Os, Ir, Pt, Au; p-metals: Al, Bi, Sb, Sn, Pb. ESA-type processing of samples was performed on the Electrom, EFI, ELFA, Elitron, IMEI, and Corona installations, and modern domestic and foreign equipment and instruments were used for their study. The research has shown that it is possible to formulate criteria that determine the efficiency of the ESA process and the properties of the doped layer, depending on the properties of the d-elements, determined by their position in the Mendeleev Table and the number of (s + d) electrons of electrode materials. A similar approach to the definition of performance criteria can be recommended for other high-energy processes of exposure to materials.*

Keywords: *electrospark alloying, electrodes, erosion, properties*

Введение. Метод электроискрового легирования металлических поверхностей (ЭИЛ), предложен выдающимися российскими учёными Б.Р. и Н.И. Лазаренко в 1943 г. открыл новые возможности решения проблемы повышения надёжности, долговечности, работоспособности ряда ответственных деталей машин, инструментов и оборудования [1-3].

Достоинства метода ЭИЛ и перечень решаемых задач изложены в наших работах [8].

Отечественными и зарубежными предприятиями создан ряд установок с различными параметрами. В силу неадитивности процесса ЭИЛ, многообразия внешних факторов воздействия и природы материала электродов, выбор оптимальных режимов обработки представляет значительные трудности. В связи с этим нами предложен новый подход к оценке процесса формирования ЛС и его свойств, учитывающий ряд параметров и критериев [4].

Ранее проведённые классические методы определения эрозии, выполненные русскими учёными Б.Н. Золотых, К.К. Намитоковым [5-7], другими исследователями, были посвящены эрозии электродов при искровой обработке материалов преимущественно в жидкой среде. В данной работе

обобщены и дополнены работы Верхотурова А.Д., Иванова В.И., других соавторов, начатые в ЦНИЛЭлектроме, продолженные в ИПФ АН МССР, ИМ ХНЦ ДВО РАН, ГОСНИТИ по эрозии в зависимости от физико-химических свойств электродов различных материалов в различных средах, на разных режимах и установках ЭИЛ.

Таким образом, целью данной работы является исследование эрозии материалов электродов от физико-химических свойств анодных материалов при ЭИЛ на различных установках, режимах обработки, в различных межэлектродных средах и установление зависимостей, которые можно использовать в качестве основы для определения критериев эффективности ЭИЛ. Эта работа развивает направление исследований, результаты которых изложены в и касаются эрозии анода из чистых металлов при единичных импульсах и при многоимпульсной обработке [8].

Материалы и методы. В качестве материала подложки использовалась сталь 45, имеющая широкое применение в машиностроении. В качестве анодных материалов для формирования ЛС использовались тугоплавкие d-металлы IV-VI групп: Ti, V, Cr, Zr, Nb, Vo, Hf, Ta, W; – а также d-металлы: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pd, Ag, Cd, Re, Os, Ir, Pt, Au; p-металлы: Al, Bi, Sb, Sn, Pb. При ЭИЛ одноимёнными материалами в качестве катода использовались, соответственно, материалы из ряда выбранных анодных. Для определения зависимостей влияния физико-химических свойств электродных материалов на их эрозию и оценку критериев формообразования и эффективности применения процесса ЭИЛ необходим методологический подход оценки эрозии материала анода, процесса формирования ЛС и его физических и эксплуатационных свойств (рис. 1).

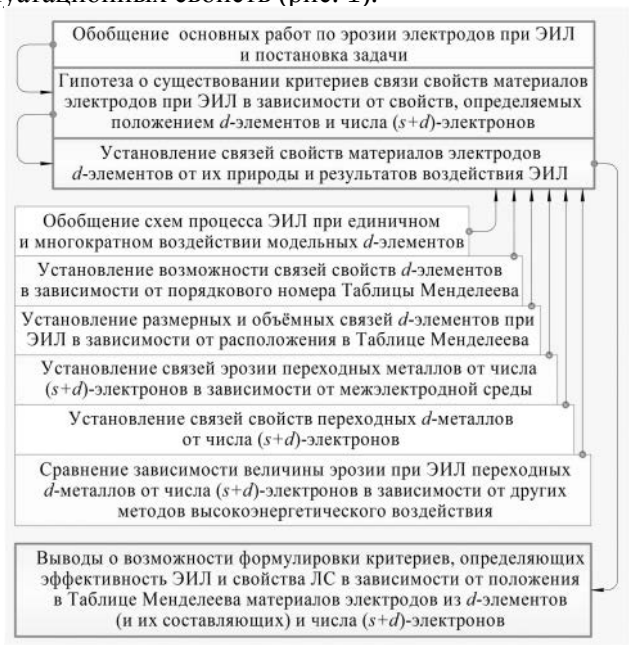
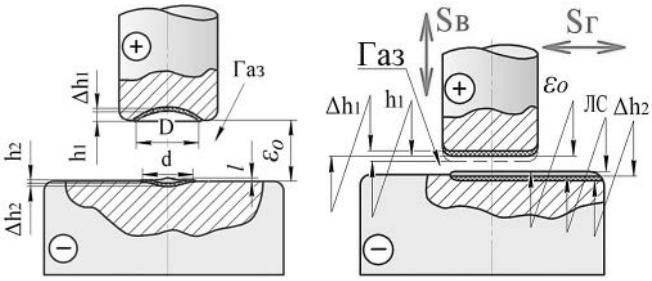


Рис. 1. Методологическая схема установления возможности формулировки критериев, определяющих эффективность ЭИЛ и свойства ЛС в зависимости от природы материала

Используемое оборудование и приборы. Установки для ЭИЛ: ЭФИ-10М, ЭФИ-46А, ЭФИ-25М, ЭФИ-66, Электром-10, ЭЛФА-541, Элитрон-22,

ИМЭИ-01-2А; Корона-1101; микроскопы МИИ-4, МИМ-10, БИОЛАМ-М, ЭМА-100, Axiosplan-2; профилограф П-201 “Калибр”; микротвердомеры ПМТ-3М, DUH-W201 Shimadzu; при исследовании эрозии использовали установку “Atovic absorption spectrophotometer, Varian AA-4” и методику [9]; для лазерной обработки использовали генератор ГОС-30М (импульс излучения 1 мс; F=250 мм; плотность мощности 6·107 Вт/см^2) и установку СЛС-10-1 (плотность мощности 1,3·106 Вт/см^2, длительность импульса 1,5 мс, F=37 мм); электроннолучевую обработку осуществляли в ИЭС им. Е.О. Патона на установке с ускоряющим напряжением 50, 65, 72 кВ, длительностью импульса 40, 200 мкс; частотой следования 300, 280 Гц, током 1,0; 5,25; 5,0 мА, скоростью перемещения 1,25; 11,4 мм/с, временем обработки 9 мин, разряжением рабочей камеры 2,6·10-3 Па.

Результаты и обсуждение. Обобщение схем процесса ЭИЛ при единичном и многократном воздействии модельными анодными материалами. Проведённые исследования и обобщения основных работ по эрозии материалов в результате действия одного и многократных электрических импульсов [2, 5-20] привели к следующей схеме процесса ЭИЛ (рис. 2), показывающей образование лунок на аноде и катоде. На катоде в общем случае возникает лунка с различной степенью заполнения материалом катода или представляющая зону взаимной кристаллизации материала анода и катода. При воздействии искрового разряда в газовой среде наблюдаются различия в формировании лунок в связи с более интенсивным переносом эродированного материала на противоположный электрод, особенно на катод. На катоде возникает лунка с различной степенью её заполнения образовавшимся материалом в результате взаимодействия перенесённых материалов анода, катода и межэлектродной среды. Анализ показал, что размеры лунок при воздействии искрового разряда в газовой среде меньше, чем при обработке в жидкой диэлектрической среде.



а *б*

Рис. 2. Общая схема процесса ЭИЛ: единичный разряд (а); многократное воздействие искровых разрядов (б) ε_0 – межэлектродный промежуток; d, h, D – геометрические параметры эрозии анода и катода (1 и 2,соответственно); s – движение подачи ($s_в$ – вертикальное; $s_г$ – горизонтальное); ЛС – легированный слой.

При одиночном разряде можно отметить образование ЛС на катоде толщиной Δh_2 и на аноде толщиной Δh_1, а также слой изменённой поверхностной структуры, прилегающий к Δh_1, Δh_2 электродов (рис. 2а). Размер лунок уменьшается (D, h) с повышением степени ковалентности межатомной связи обрабатываемого материала; наименьший объём наблюдается у наиболее

тугоплавких металлов. На аноде область эрозии отдельным каналом искры значительно больше, чем на катоде, что согласуется с данными [5-6, 15-18]; при использовании в качестве анода и катода одноимённых металлов размеры лунки на аноде больше, чем на катоде, что было замечено ранее [10]. Перенос эродированного материала на противоположный электрод и образование “вторичной структуры” затрудняет измерение геометрических параметров лунок.

На аноде давление спадает значительно медленнее, чем на катоде. В связи с этим на аноде на первый план выступает плавление материала, а эффект “откола” играет второстепенную роль. Лунки на аноде чётко очерчены зоной оплавления, около них нет выплеснутого расплавленного металла. Профиль лунки на аноде представляет собой либо гладкую поверхность, либо поверхность с конусообразными возвышениями, выступающими над поверхностью нетронутого разрядом металла. Эти конусообразные образования в лунках представляют собой сконденсировавшийся металл электродов.

На катоде для всех исследованных анодных d-металлов (Ag, Al, Bi, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Zn, Mo, W, Pb, Sb, Sn) при различных режимах ЭИЛ наблюдаются резко очерченные лунки, являющиеся как бы следствием механического разрушения поверхности. Профиль катодной лунки состоит из обрывистых террасообразных спусков вследствие “откола” частиц металла по плоскостям слойности. Катодная лунка не имеет следов явного оплавления, но, как правило, края её окаймлены венчиком оплавленного металла. Подтверждается показанный в [17] различный характер формирования лунок на аноде и катоде при действии единичных искровых разрядов на воздухе. Это связано с резким падением давления на катоде вследствие расширения, а затем охлаждения и частичной конденсации паров. Характер деформации на поверхности катода соответствует деформации, возникающей под действием резко спадающего давления во время импульса. На аноде, как отмечено выше, давление спадает медленнее, чем на катоде, в связи с этим превалирует плавление материала, а эффект «откола» играет второстепенную роль. На аноде имеются также следы пластической деформации, оплавленной и примыкающей к ней зоны. То есть, причиной различных явлений на аноде и катоде является выделение на порядок большей энергии искрового разряда на аноде, чем на катоде, что приводит к образованию лунки больших размеров и к меньшему влиянию термомеханических факторов. При воздействии на тугоплавкие d-металлы одноимённых материалов (анод-катод) единичными разрядами различных энергий закономерности изменения параметров лунок аналогичны, и с увеличением энергии импульсов проявляются более чётко.

Сравнение полученных характеристик, особенно объёма лунок, с теплофизическими константами материала электродов, а также проверка их соответствия критериям эрозионной стойкости не дали удовлетворительных корреляций, поскольку, очевидно, между ними нет однозначной зависимости. Это определяется меняющимися в процессе даже одного электроискрового разряда условиями прохождения тока между анодом и катодом, обусловленными как природой материалов электродов и межэлектродного промежутка, так и режимами, длительностью, многофакторностью разряда и, в конечном итоге, приводят к неаддитивности процесса ЭИЛ. Тем не менее, совокупность влияния условий и доминирующих систематически и

постоянно действующих факторов при искровом разряде остаётся исходной предпосылкой количественной оценки параметров эрозии и формирования ЛС, а также основанием формулировки критериев эффективности процесса ЭИЛ.

Зависимости некоторых свойств тугоплавких d-металлов от их расположения в IV-VI периодах Таблицы Менделеева. Учитывая данные параметры оценки взаимодействия элементов, выбранных в качестве электродных материалов при ЭИЛ, в работах А.Д. Верхотурова [19-20], а также авторами [21-22] было предложено считать в качестве важнейшей характеристики эксплуатационных свойств тугоплавких вольфрамсодержащих сверхтвёрдых сплавов модуль упругости ЕУ. Вследствие чего представляет интерес использования критерия Верхотурова «В» (термостойкости):

$$B = H_{\mu} \cdot T_{пл.}/E_{У}, \quad (1)$$

где: H_{μ} – микротвёрдость анодного материала; Тпл. – температура плавления; $E_{У}$ – модуль упругости.

Для сомножителей указанного критерия (H_{μ}, $T_{пл.}$, $E_{У}$) можно заметить закономерность изменения свойств от возрастания периода и номера элемента на примере выбранных модельных тугоплавких металлов IV-VI групп (рис. 3), то есть, от природы материала.

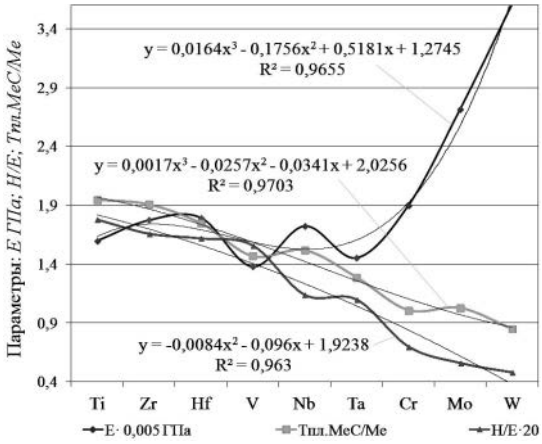


Рис. 3. Изменение некоторых свойств (ЕУ, Тпл., Hμ/E) тугоплавких d-металлов IV-VI групп в зависимости от их расположения в IV-VI периодах

Можно наблюдать изменение свойств тугоплавких электродных материалов IV-VI групп и описать их приведёнными полиномиальными уравнениями (рис. 3) с достоверностью аппроксимации, близкой к единице: $R^2 \geq 0{,}96$. То есть, показано существование связи свойств d-металлов в зависимости от их порядкового номера в Таблице Менделеева. Видно возрастание модуля упругости $E_{У}$ в 2,3 раза в зависимости от порядкового номера d-элемента и периода в Таблице Менделеева: от n=22 (Ti) к n=74 (W); снижение отношения микротвёрдости к модулю упругости $H_{\mu}/E_{У}$ в 3,7 раза; снижение отношения ($T_{пл.}$МеС) /($T_{пл.}$Ме) температуры плавления карбида металла к температуре плавления металла – в 2,3 раза.

Таким образом, показаны закономерности изменения связи свойств материалов (микротвёрдость, температура плавления, модуль упругости) ту-

гоплавких d-металлов в зависимости от их порядкового номера в Таблице Менделеева. Можно утверждать наличие связи свойств материалов электродов с количественными параметрами их эрозии и параметрами критериев эффективности формирования ЛС при ЭИЛ, которые, для определённых условий, можно определить путём подбора соотношений и сравнения с полученными количественными экспериментальными данными этих свойств.

Установление размерных и объёмных связей d-элементов при ЭИЛ в зависимости от расположения их в Таблице Менделеева. Выявлены соотношения изменения диаметра, высоты и объёма кратеров металлов при ЭИЛ-воздействии модельными материалами (d-элементами) с порядковым номером (природы материала). Так, для IV периода для d-элементов (Ti→Zn) наблюдается зависимость изменения трёх параметров лунок: диаметра, высоты, объёма при единичном разряде и режимах ЭИЛ: $I_{кз}$=100 А; V = 46 В; C = 1100 мкФ. Эти изменения можно описать приведёнными полиномиальными уравнениями (рис. 4) с достоверностью аппроксимации $R^2 \geq 0{,}9$.

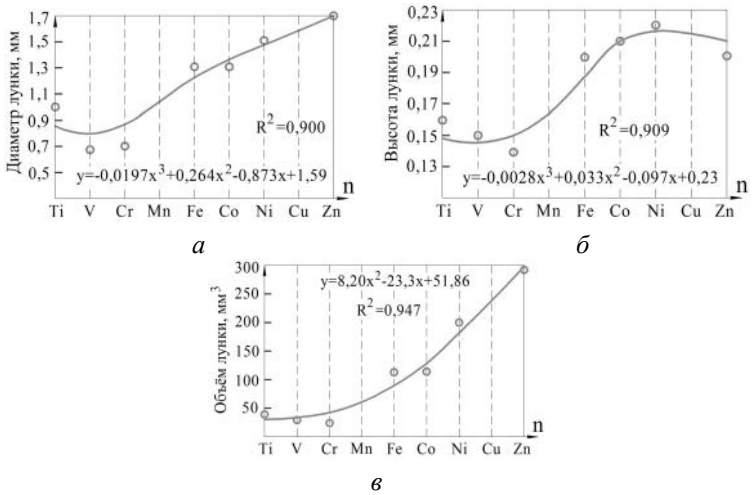


Рис.4. Изменение размерных (а, б) и объёмных (в) параметров лунки на поверхности катода при единичных разрядах одноимённых электродных d-материалов (элементов IV группы) в зависимости от порядкового номера в периоде

Здесь показано существование связи геометрических и объёмных свойств электродных материалов при единичных электроискровых разрядах от положения d-элементов (используемого материала) в Таблице Менделеева. Причём, для тугоплавких элементов IV-VI групп эти три параметра лунок (высота, диаметр, объём) уменьшаются (рис. 4 и 5) для IV-VI периодов, а для d-элементов VIII группы, наоборот, повышаются (рис. 4а, б, в). Параметр «высота лунки» d-элементов к концу IV-го периода (рис. 4б) стабилизируется и несколько уменьшается. Таким образом, очевидно существование зависимости при ЭИЛ свойств материала электродов d-элементов от их положения в Таблице Менделеева.

Зависимость уменьшения диаметра, высоты и объёма лунок при единичном ЭИЛ наблюдается также для всех тугоплавких d-элементов IV-VI групп (рис. 5). Однако с возрастанием периода d-элементов для одной и той же группы такой зависимости не наблюдается. Например, для VI группы (рис. 5) с воз-

растанием порядкового номера n наблюдается увеличение диаметра лунки, уменьшение её высоты и экстремум по объёму (V_{max}) для молибдена.

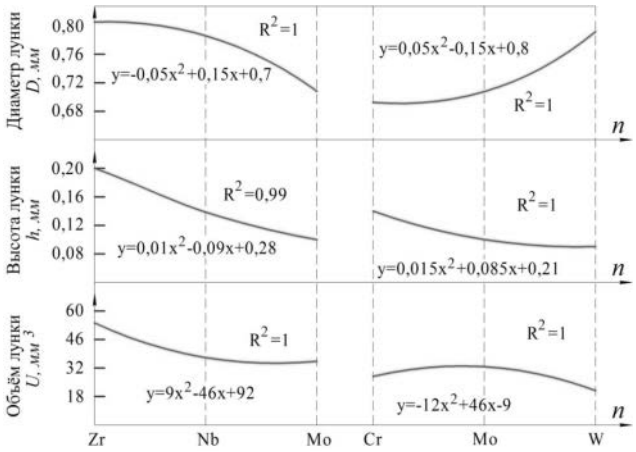


Рис. 5. Изменение размерных и объёмных параметров лунки на поверхности катода при единичных разрядах одноимённых электродных d-материалов (элементов V периода IV-VI групп: Zr→Mo и VI группы IV-VI периодов: Cr→W) в зависимости от порядкового номера в Таблице Менделеева

Для всех режимов обработки и межэлектродных сред (воздух, аргон, азот, вода, керосин) лунки имеют вид правильных окружностей с плоским дном и гладкой вогнутой поверхностью профиля [23]. Лунки, полученные на воздухе, отличаются большей площадью, более плоским дном, наличием широкого валика с неровными краями, глубина их меньше, чем при обработке в жидкости.

Таким образом, учитывая установленные связи размерных и объёмных свойств электродных материалов, можно утверждать о возможности формулировки критериев оценки и количественной связи между экспериментально установленными размерными и объёмными параметрами величин эрозии при ЭИЛ электродными d-материалами (d-элементами IV-VI групп) как в зависимости от режимов и условий обработки, так и от их порядкового номера и расположения по периодам и группам Таблицы Менделеева.

Зависимости свойств модельных электродных материалов от статистического веса атомных стабильных конфигураций (СВАСК). Ход расчётных кривых стабильности s- и d-состояний для атомов 3d– элементов чётко указывает на рост стабильности электронных конфигураций в направлении от d^1 к d^5 до максимальной возможной степени [12, 20]. Аналогично во втором полупериоде стабильность конфигураций повышается в направлении $d^5 \rightarrow d^{10}$. Максимальная стабильность полузаполненных d^5 и полностью заполненных d^{10} конфигураций объясняется обменной стабилизацией системы электронов. Как показали результаты расчёта СВАСК (рис. 6), она проявляется в поведении многих физико-химических свойств тех элементов, в спектре которых превалируют указанные стабильные конфигурации.

Видно повышение атомной стабильности от электронных конфигураций d^1 к конфигурациям d^5 и далее в ряду $d^6 \rightarrow d^{10}$, где наиболее стабильными конфигурациями являются d^5. При этом, как видно (рис. 6), необходимы дальнейшие исследования по уточнению связи свойств (термического рас-

ширения α, и твёрдости H_μ) в ряду d-элементов IV периода марганца (Mn), проявляющего аномалию некоторых свойств (α, Hμ). Анализ наблюдающейся при этом «аномалии» составляет важную область использования конфигурационной модели. В [12, 20] показано, что критерий заполняемости d-уровня у переходных металлов качественно отражает увеличение атомной стабильности электронных конфигураций в направлении $d^1 \rightarrow d^5$ и $d^6 \rightarrow d^{10}$. В работах [12, 20, 24, 25] предложен получивший распространение критерий оценки относительной стабильности dn- конфигураций в сравнении со стабильностью конфигураций d^0, d^5, d^{10}. Указанные закономерности (рис. 6) можно объяснять с позиций конфигурационной модели вещества, в которой предложен критерий заполнения электронной подоболочки изолированного атома d-элементов и s-, p-элементов [24, 25]. Показано, что критерий заполняемости во многих случаях позволяет не только объяснять, но и предсказать свойства d-металлов, а также сплавов на их основе. Согласно конфигурационной модели вещества свойства материалов определяются величиной СВАСК. В предельных случаях n_d = 0, 5, 10, когда наиболее существенны эффекты стабильности, значения СВАСК дают правильную количественную оценку этого параметра.

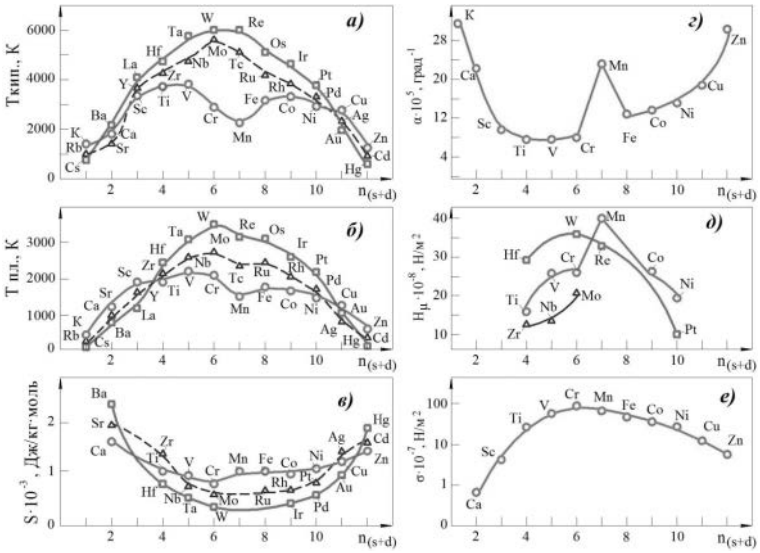


Рис. 6. Зависимость температуры кипения (а), температуры плавления (б), коэффициента сжимаемости (в), коэффициента термического расширения (г), твёрдости (д), предела прочности (е) переходных металлов от числа валентных электронов (s+d)

Таким образом, можно полагать, что одним из важнейших критериев оценки эрозии и формообразования функционального ЛС при ЭИЛ является критерий, учитывающий эффекты стабильности материала полученного функционального покрытия, предполагаемые значения СВАСК. Например, при выборе электродного материала для ЭИЛ с целью достижения ЛС высокой твёрдости, износостойкости, предпочтение следует отдавать тугоплавким анодным материалам (и их соединениям), содержащим максимальное количество устойчивых конфигураций типа sp^3, s^2p^6, d^5.

Зависимость эрозии анода из переходных металлов от числа (s+d)-

электронов и межэлектродной среды. Следы воздействия разрядов, полученных в воздухе, характеризуются несколько большим диаметром лунок, чем в жидкости. Объём лунок как на аноде, так и на катоде при ЭИЛ в воздухе, как правило, меньше, чем при обработке в жидкости (рис. 7).

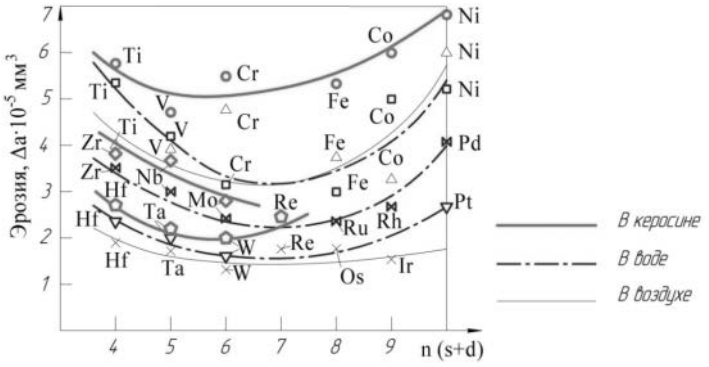


Рис. 7. Зависимость эрозии переходных металлов от числа (s+d) -электронов (катод – Cu)

В свою очередь, размеры лунок в случае использования керосина больше, чем при использовании воды. Диаметр, глубина и объём лунок для одинаковых сред уменьшаются в ряду металлов при переходе от Ti к Cr , от Zr к Mo, от Hf к W, затем увеличиваются соответственно от Cr к Ni, от Mo к Pd, от W к Pt, закономерно уменьшаясь по группам металлов сверху вниз.

Исследования показали, что объём лунок (их эрозия) соответствует степени локализации, выражаемой СВАСК металла, её стабильными d5-конфигурациями [12, 24, 25]. И с увеличением степени локализации при переходе от металлов IV группы к металлам V и далее VI групп объём лунок (эрозия) уменьшается, а с увеличением степени локализации для металлов VIII группы – увеличивается. К аналогичным выводам пришли авторы, изучая эрозию металлов в спектральных источниках света [18].

Таким образом, при определении параметров эрозии катода и критериев формообразования ЛС, с целью достижения более высоких свойств покрытия и большей эффективности ЭИЛ, необходимо отдавать предпочтение при выборе анодным материалам, содержащим максимальные величины СВАСК устойчивых конфигураций. Кроме того, необходимо учитывать не только свойства электродных материалов, режимы обработки, но и материал межэлектродной среды, оказывающий значительное влияние на эффективность ЭИЛ.

Закономерности эрозии d-металлов при ЭИЛ и других видах высокоэнергетического воздействия на поверхность. Были получены данные по эрозионной устойчивости d-элементов при воздействии на них различными высокоэнергетическими процессами (рис. 8): электромеханическая обработка, электроискровая, электронно-лучевая, лазерная.

Каждый из них показывает свою специфику механизмов эрозии, но они имеют общую корреляцию зависимостей, свидетельствующую о влиянии прочности межатомной связи на устойчивость элементов для каждого вида воздействия. Эрозия тугоплавких d-металлов IV-VI групп для всех видов высокоэнергетического воздействия уменьшается с повышением СВАСК металлов всех исследованных IV-VI периодов. Для IV периода эрозия воз-

растает с повышением от устойчивой конфигурации d^5 (Cr) к менее устойчивым конфигурациям d^6-d^8 (соответственно: Fe, Co, Ni), от которых при использовании, например, в качестве анодных материалов, следует ожидать большего электромассопереноса.

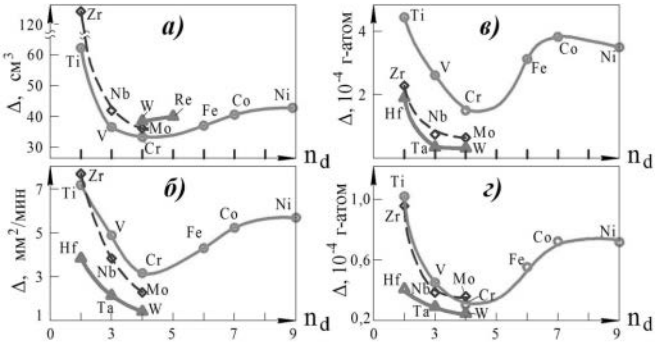


Рис. 8. Зависимости эрозии переходных d-металлов от числа валентных (s+d)-электронов (природы материала) и вида высокоэнергетического воздействия: электромеханическое (а); электроискровое (б); электронно-лучевое (в); лазерное (г)

Таким образом, замеченные зависимости свойств d-элементов от порядка их расположения в Таблице Менделеева и статистического веса атомных стабильных конфигураций свидетельствуют о возможности формулировки гипотезы, предполагающей определение зависимостей изменения физических и эксплуатационных свойств материалов от воздействия на них различными методами локального высокоэнергетического воздействия, в том числе при получении ЛС методом ЭИЛ.

Также возможен общий подход к формулировке критериев достижения новых свойств материалов в результате высокоэнергетического воздействия. Например, определение критериев формирования ЛС в процессе ЭИЛ электродными d-материалами, в том числе и их соединениями, от их природы и ранее установленных зависимостей может быть аналогичным определению критериев эффективности для электродугового, плазменного или других видов высокоэнергетического воздействия.

Выводы.

1. Неаддитивность процесса ЭИЛ обусловлена совокупным действием меняющихся условий и доминирующих систематически, случайно и постоянно действующих факторов в процессе искрового разряда. Совокупность этих факторов является исходной предпосылкой количественной оценки параметров эрозии и формирования ЛС, а также основанием формулировки критериев эффективности процесса ЭИЛ.

2. Показаны закономерности связи свойств материалов (микротвёрдость, температура плавления, модуль упругости) тугоплавких d-металлов и их соединений с их порядковым номером в Таблице Менделеева.

3. Одним из важнейших критериев оценки эрозии и формообразования ЛС при ЭИЛ является критерий, учитывающий эффекты стабильности материала полученного функционального покрытия, предполагаемые значения СВАСК, в том числе при выборе электродного материала для ЭИЛ с целью достижения высокой твёрдости, износостойкости, жаростойкости ЛС.

4. Для достижения более высоких свойств покрытий и большей эффективности ЭИЛ необходимо отдавать предпочтение анодным материалам, имеющим максимальное значение величин СВАСК, учитывая при этом как свойства электродных материалов, режимы обработки, так и состав межэлектродной среды.

5. Можно утверждать о наличии связей свойств материалов электродов с величиной их эрозии и параметрами эффективности формирования ЛС при ЭИЛ, которые для конкретных условий определяются методом подбора соотношений и сравнения с количественными экспериментальными данными ранее установленных зависимостей.

6. Возможен общий подход к формулировке критериев достижения новых свойств материалов в результате высокоэнергетического воздействия на них. Закономерности изменения свойств d-элементов от порядка их расположения в Таблице Менделеева и СВАСК свидетельствуют о возможности формулировки гипотезы, предполагающей определение сходных зависимостей изменения их физических и эксплуатационных свойств для различных методов локального высокоэнергетического воздействия.

Библиографический список

1. Ставицкий Б.И. Из истории электроискровой обработки материалов. Харьков: ЧФ "ЦентрИнформ"; ПРАТ "Полиграфсервис", 2013. 104 с.

2. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов. Вып. 1. М.: Госэнергоиздат, 1944. 60 с.

3. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Способ обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов // А. с. 70010 СССР / Б. И. 1971. N 7. С. 205.

4. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Коневцов Л.А. Критерии оценки эффективности процесса электроискрового легирования / Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107. N2. С. 131-137.

5. Золотых Б.Н., Гусев К.Х., Тарасов Е.А. О механизме электрической эрозии металлов в жидкой диэлектрической среде / Проблемы электрической обработки материалов. М.: Изд-во АН СССР, I960. С. 58-64.

6. Золотых Б.Н., Коробова И.П., Стрыгин Э.М. О роли механических факторов в процессе эрозии в импульсном разряде / Физические основы электроискровой обработки материалов. М.: Наука, 1966. С. 63-73.

7. Намитоков К.К. Электроэрозионные явления. М.: Энергия. 1978. 456 с.

8. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Коневцов Л.А. О влиянии физико-химических свойств чистых металлов на их эрозию при электроискровом легировании. / Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 202-215.

9. Сычёв В.С., Верхотуров А.Д. Особенности эрозии и переноса материала катода на анод при ЭИЛ / Электронная обработка материалов. 1974. N 4. С. 39-41.

10. Проблемы электрической обработки материалов. М.: Изд-во АН СССР. 1960. 248 с.

11. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электродинамическая теория искровой электрической эрозии металлов / В кн. Проблемы электрической обработки материалов. 1962. М.: С. 44-51.

12. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д. Закономерности эрозии катода и анода при электроискровом упрочнении / Электронная обработка материалов. 1968. N1. С. 25-29.

13. Верхотуров А.Д. Особенности эрозии переходных металлов при ЭИЛ / Электронная обработка материалов. 1981. N6. С. 18-21.

14. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А. Эрозия тугоплавких материалов при воздействии концентрированных потоков энергии. Препринт. Владивосток: Изд-во

ДВО РАН. 1987. 66 с.

15. Мицкевич М.К. Исследование явления электрической эрозии в Белоруссии. К 60-летию электроэрозионного способа обработки / Электронная обработка материалов. 2003. N 2. С. 86-50.

16. Ставицкая Н.Б., Ставицкий Б.И. Исследование форм и размеров эрозионных лунок, образованных на различных материалах искровыми разрядами / Электронная обработка материалов. 1980, N1. С. 9-13.

17. Палатник Л.С., Левченко А.А. О характере электрической эрозии на монокристаллах / Кристаллография. 1958. Т 3. N5. С. 612-616.

18. Грикит И.А., Геращенко В.П. Электрическая эрозия переходных металлов в спектральных источниках света // Электронная обработка материалов. 1973. N5. С. 14-18.

19. Верхотуров А.Д. Физико-химические основы процесса электроискрового легирования металлических поверхностей. Владивосток: Дальнаука, 1992. 176 с.

20. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычёв В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев: наук. думка, 1976. 220 с.

21. Matthews A., Leyland A. Developments in Vapour Deposited Ceramic Coatings for Tribological Applications / Key Eng. Mat. 206-213 (2002). 459-466.

22. Адамовский А.А. Принципы формирования сложноструктурных абразивов на основе тугоплавких соединений и сверхтвёрдых материалов и разработка высокоэффективного абразивного инструмента: автореф. дис. … д-ра. техн. наук. – Киев: ИПМ НАН Украины. 2004. 31 с.

23. Верхотуров А.Д., Ковальченко М.С., Лемешко А.М. Действие высококонцентрированных потоков энергии на тугоплавкие металлы и соединения // Известия АН СССР. Неорганические материала. 1979. N 4. С. 574-578.

24. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Электронная локализация в твёрдом теле. М.: Наука, 1976. 339 с.

25. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф. Конфигурационная модель вещества. Киев: Наукова думка, 1971. 437 с.

26. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И., Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика). М: Саранск, 2003. 501 С.

References

1. Stavitsky B.I. From the history of electrospark processing of materials. Kharkiv: Branch Office "CenterInform"; PRAT "Polygraphservice", 2013. 104.

2. Lazarenko BR, Lazarenko N.I. Electrical erosion of metals. Issue. 1. - Moscow: Gosenergoizdat, 1944. 60.

3. Lazarenko B.R., Lazarenko N.I. Method of processing metals, alloys and other current-carrying materials. 70010 USSR / B.I. 1971, N7. 205.

4. Verkhoturov AD, Ivanov VI, Konevtsov LA Criteria for assessing the efficiency of the process of electrospark alloying / Proceedings of GOSNITI. 2011. 107. N2. 131-137.

5. Zolotykh BN, Gusev K.Kh., Tarasov E.A. On the mechanism of electrical erosion of metals in a liquid dielectric medium / Problems of electrical material processing. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, I960. 58-64.

6. Zolotykh BN, Korobova IP, Strygin E.M. About the role of mechanical factors in the process of erosion in pulsed discharge / Physical principles of electrospark processing of materials. Moscow: Nauka, 1966. 63-73.

7. Namitokov K.K. Electroerosion phenomena. M .: Energia, 1978. 456.

8. Verkhoturov AD, Ivanov VI, Konevtsov L.A. On the effect of the physicochemical properties of pure metals on their erosion during electrospark alloying. / Proceedings of GOSNITI. 2016. 125. 202-215.

9. Sychev VS, Verkhoturov AD Features of erosion and transfer of cathode material to

the anode at EIL / Electronic material processing. 1974, N4. 39-41.

10. Problems of electrical processing of materials / Ed. B.R. Lazarenko. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1960. 248.

11. Lazarenko B.R., Lazarenko N.I. Electrodynamic theory of spark electric erosion of metals / In book. Problems of electrical processing of materials, 1962. M .: 44-51.

12. Samsonov GV, Verkhoturov AD Regularities of cathode and anode erosion in the case of electrospark hardening / Electronic material processing. 1968, N1. 25-29.

13. Verkhoturov A.D. Features of erosion of transition metals in EIL / Electronic material processing. 1981, N6. 18-21.

14. Verhoturov AD, Podchernyaeva IA Erosion of refractory materials under the action of concentrated energy flows. Preprint. Vladivostok: Izd. Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1987. 66.

15. Mickiewicz M.K. Investigation of the phenomenon of electrical erosion in Belarus. To the 60th anniversary of the electroerosion processing method / Electronic material processing. 2003. N2. 86-50.

16. Stavitskaya NB, Stavitsky B.I. Study of the shapes and sizes of erosion holes formed on various materials by spark discharges / Electronic material processing. 1980, N1. 9-13.

17. Palatnik LS, Levchenko AA On the nature of electrical erosion on single crystals / Crystallography. 1958. Vol. 3, N5. 612-616.

18. Grikit I.A., Gerashchenko V.P. Electrical erosion of transition metals in spectral light sources // Electronic processing of materials. 1973, N5. 14-18.

19. Verhoturov A.D. Physico-chemical basis of the process of electrospark alloying of metal surfaces. Vladivostok: Dal'nauka, 1992. 176.

20. Samsonov G.V., Verkhoturov A.D., Bovkun G.A., Sychev B.C. Electrospark alloying of metal surfaces. Kiev: of Sciences. Dumka, 1976. 220.

21. Matthews A., Leyland A. Developments in Vapour Deposited Ceramic Coatings for Tribological Applications / Key Eng. Mat. vols. 206-213 (2002) 459-466.

22. Adamovsky AA Principles of formation of complex structure abrasives based on refractory compounds and superhard materials and development of a highly effective abrasive tool: dis. ... dr. tech. sciences. - Kiev: IPM NAS of Ukraine, 2004. 31.

23. Verkhoturov AD, Koval'chenko MS, Lemeshko A.M. The effect of highly concentrated energy fluxes on refractory metals and compounds // Izvestiya AN SSSR. Inorganic materials. 1979, N4. 574-578.

24. Samsonov G.V., Pryadko I.F., Pryadko L.F. Electronic localization in a solid body. M .: Nauka, 1976. 339.

25. Samsonov G.V., Pryadko I.F. The configuration model of the substance. Kiev: Naukova Dumka, 1971. 437.

26. Burumkulov F.H., Lezin P. P., Senin P.V., Ivanov V.I., Electrospark technologies of recovery and hardening of details of cars and tools (theory and practice)//Editor: Burumkulov F. H. / M: Saransk, 2003. 501.

УДК 681.5.004/62-1/-9/62-523.8

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Виктор Иванович Денисов, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация, info@firma-tom.ru;
Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация,
Алексей Александрович Толкачев, младший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Современные вызовы, стоящие перед сельскохозяйственной отраслью России, сделали ее зависимой от инновационных технологий, в том числе от робототехники, генетики, отрасли IT, поэтому их внедрению следует уделить особое внимание, параллельно решая вопросы высвобождения рабочей силы в аграрном производстве. Будущее российского сельского хозяйства напрямую связано с применением современных технологий. Основные преимущества электродуговой металлизации — высокая по сравнению с другими методами производительность (до 50 кг напыляемого материала в час) и несложное технологическое оборудование. К ее недостаткам относятся значительное (до 20%) выгорание легирующих элементов и повышенное окисление металла. Для устранения этих недостатков в обоснованных случаях для распыления расплавленного металла вместо сжатого воздуха применяют природный газ или продукты сгорания углеводородного топлива, исключающие взаимодействие частиц металла с воздухом (активированный способ металлизации). При этом благодаря науглероживанию и закалке частиц металла повышается твердость напыленного слоя. В работе представлена технология и оборудование для электродуговой металлизации (ЭДМ) как способ создания покрытий с программируемыми свойствами. Актуальность рассматриваемого материала связана с возможностью увеличения срока эксплуатации сельхозмашин. Приведены примеры применения ЭДМ как способа уменьшения стоимости деталей и узлов, а также способа восстановления изношенных деталей до номинальных размеров. Описано универсальное оборудование для сварки, наплавки и напыления с применением современных робототехнических составляющих. Использование компьютерных программ управления процессом напыления полностью исключают влияние человеческого фактора на технологию и качество выполняемых работ.*

Ключевые слова: *электродуговая металлизация, свойства покрытий, автоматическое оборудование для сварки, наплавки и напыления.*

PERSPECTIVE DIRECTION OF REDUCING THE COST OF AGRICULTURAL MACHINERY

Viktor I. Denisov, leading researcher, info@firma-tom.ru
Anatoly V. Chavdarov, candidate of technical Sciences, leading researcher
Alexey A. Tolkachev, junior researcher, prolait1986@mail.ru,
Federal State Budget Scientific Institution "Federal scientific engineering center VIM"

Abstract. *The current challenges facing the agricultural sector in Russia have made it dependent on innovative technologies, including robotics, genetics, and the IT industry, so their implementation should be given special attention, while solving the issues of freeing the labor force in agricultural production. The future of Russian agriculture is directly related to the use of modern technologies. The main advantages of electric arc metallization are high productivity in comparison with other methods (up to 50 kg of sprayed material per hour) and simple processing equipment. Its disadvantages include a significant (up to 20 %) burnout of alloying elements and increased oxidation of the metal. For elimination of these shortcomings in reasonable cases for atomization of the melted metal instead of compressed air apply natural gas or products of combustion of hydrocarbon fuel excluding interaction of metal particles with air (the activated method of metallization). At the same time, due to carburization and hardening of metal particles, the hardness of the sprayed layer increases. The paper presents the technology and equipment for electric arc metallization (EDM) as a method of creating coatings with programmable properties. The relevance of the material associated with the possibility of extending the service life of agricultural machinery. Examples of the use of EDM as a method of reducing the cost of parts and assemblies, as well as a method of restoring worn parts to nominal sizes. The universal equipment for welding, surfacing and spraying with the use of modern robotic components is described. The use of computer programs to control the spraying process completely eliminate the influence of the human factor on the technology and quality of work performed.*

Keywords: *electric arc metallization, coating properties, automatic equipment for welding, surfacing and spraying.*

Введение. Технологические процессы изготовления деталей для сельскохозяйственной техники предусматривают использование как коррозионностойких материалов при контакте с пищевым продуктом, так и местную или объемную закалку поверхностей, испытывающих значительные износы в процессе работы техники. Финансовые затраты для реализации указанных мероприятий составляют значительную часть от стоимости готовой сельскохозяйственной техники. Использование современных технологий и материалов позволяют значительно снизить отпускную стоимость сельхозмашин.

Электродуговая металлизация (ЭДМ) известна и применяется давно для решения описанной выше задачи. Однако главным препятствием широкого применения данной технологии является отсутствие соответствующего автоматизированного и механизированного оборудования, а также нежелание предприятий изменить технологические процессы изготовления деталей [1]-[9].

В качестве примера использования технологии ЭДМ можно привести замену нержавеющей стали при изготовлении валов на более дешёвую сталь

45 с покрытием толщиной 0,5мм поверхности вала нержавеющей сталью 12Х18Н9 на Бавленском заводе глубинных насосов. Также эффективно использование ЭДМ в ремонтном производстве. На рисунке 1 представлен гидрошток экскаватора «Фукс» до и после восстановления.

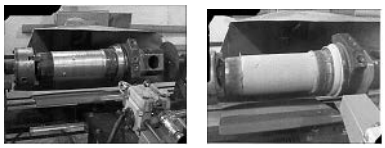


Рис. 1. Гидрошток экскаватора до и после восстановления
Износ 2,5мм, подлежал списанию. Восстановлен до номинала, твердость покрытия 64 HRC

О необходимости внедрения современных установок для переоснащения производства указывалось неоднократно[10]. ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработало и внедрило новую универсальную установку для сварки, наплавки и напыления, представленную на рисунке 2.

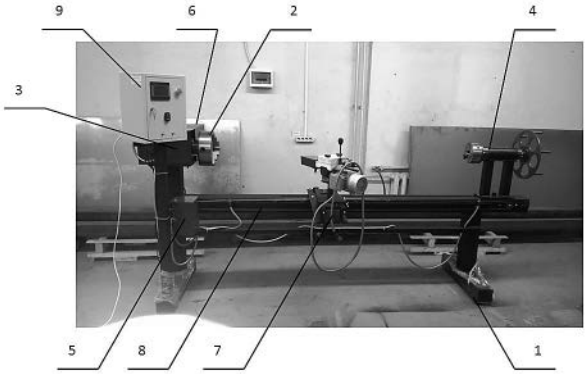


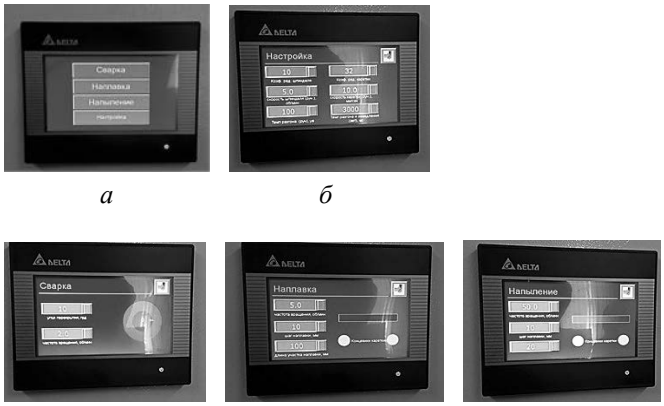
Рис. 2.Универсальная установка для сварки, наплавки и напыления
1 – каркас, 2 – патрон, 3 – шпиндель, 4 – задняя бабка, 5 – привод каретки, 6 – привод шпинделя, 7 – каретка, 8 – цепная передача, 9 – пульт управления

Отличительной особенностью данной установки является использование сервоприводов для вращения детали и перемещения так называемого «инструмента» (горелки сварочного полуавтомата, плазмотрона или металлизатора). Вся работа установки управляется от разработанной программы, которая заложена в программируемый логический контроллер (ПЛК) пульта управления (рис. 3). Выбор режима работы осуществляется от сенсорной операторской панели.

Рис. 3. Пульт управления универсальной установки

Использование современных электронных комплектующих, специально разработанной программы и оригинальных конструкторских решений значи-

тельно упростило работу на установке и практически полностью исключило влияние рабочего на процессы сварки, наплавки и напыления. Ниже приведены окна операторской панели при работе на разных режимах (рис. 4).



а *б*

в *г* *д*

Рис. 4.Окна сенсорной операторской панели
а – стартовое окно операторской панели, б – окно настройки в ручном режиме, в – режим сварки кольцевого шва, г – режим наплавки, режим напыления

При использовании установки для сварки кольцевых швов на каретку закрепляется горелка сварочного полуавтомата. Задача рабочего – установить свариваемые детали и нажать кнопку «пуск». Автоматически будет выполнен кольцевой шов с заданным перекрытием и рабочему остается только снять сваренные узлы. При такой логике работы нет необходимости в привлечении квалифицированных сварщиков, что приводит к уменьшению себестоимости продукции.

Логика работы при использовании процессов наплавки и напыления несколько иная. При данных процессах задаются точки начала и конца наплавляемого или напыляемого участков. В остальном перед рабочим стоят те же задачи, что и при сварке кольцевого шва.

Использование современных автоматизированных установок, новых достижений в области технологии сварки, наплавки и напыления, а также перспективных материалов для этих процессов позволит как улучшить качество выпускаемой продукции, так и сделать наше сельхозмашиностроение конкурентоспособным на мировом рынке.

Библиографический список

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

2. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники / Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2012. N3. С. 5-7.

3. 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 сельскохозяйственной науки. 2013. N2. С. 80-81.

4. Электродуговая металлизация: пути совершенствования оборудования и технологии — URL: http://www.gosniti.ru/ (дата обращения 10.04.2018г.)

5. Метод электродуговой металлизации (ЭДМ) на службе восстановления коленчатых валов — URL: http://skosr.ru/ (дата обращения 10.04.2018г.)

6.Восстановление деталей электродуговой металлизацией — URL: https://studfiles.net/ (дата обращения 10.04.2018г.)

7. Электродуговая металлизация — URL: http://www.weldsol.ru/ (дата обращения 10.04.2018г.)

8. Матюшкин Б.А. ,Денисов В.И., Толкачёв А.А. Технологические особенности электродуговой металлизации в отрасли АПК // Журнал «Сварочное производство». – 2016. Вып. 12. С. 46-50.

9. Газотермическое напыление [Электронный ресурс]. URL: http://ural-welding.ru/ru/ articles/gazotermicheskoe-napylenie/sverhzvukovoe-gazovozdushnoe-napylenie.html (дата обращения: 01.04.2015).

10. Логачев, В.Н., Литовченко Н.Н. Электродуговая металлизация: пути совершенствования оборудования и технологии // Журнал «Труды ГОСНИТИ». 2014. Т 117. С. 228-234.

11. Литовченко Н. Н. Влияние скорости истечения гетерофазного потока на физико-механические свойства электрометаллизационного потока // Журнал «Сварочное производство». 2013. Вып. 6. С. 43-47.

12. Лялякин, В.П. Исследование процесса газодинамического диспергирования металла при электродуговой металлизации // Науч. тр. / ВНИИТУВИД «РЕМДЕТАЛЬ». М., 1999. Восстановление и упрочнение деталей машин. С. 5-27.

13. Чавдаров, А.В., Лялякин В.П., Скоропупов Д.И. Особенности комплектования автоматических сварочных комплексов. // Журнал «Сварочное производство». 2017. Вып. 2. С. 39-44.

14. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин // словарь или справочник Москва. 2003. 672 с.

References

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

2. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskii Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosienko S.A. Nauchnye principy povysheniya iznosostoykosti rabochih organov pochvoobrabatyvaushcheyi tekhniki / Vestnik rossiyskoy selskokhoziaystvennoy nauki. 2012. N3. 5-7.

3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaitsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispolzovanie bimetalicheskikh staley dlia povysheniya resursa rabochih organov selskokhoziaystvennyh mashin // Vestnik rossiyskoy selskokhoziaystvennoy nauki. 2013. N2. 80-81.

4. Electric arc metallization: towards the improvement of equipment and technology URL: http://www.gosniti.ru/ (accessed 10.04.2018 G.).

5. Electric arc metallization (EDM) method on crankshaft repair service — URL: http://skosr.ru/ (circulation date 10.04.2018 G.).

6. Restore parts by arc metallization – URL: https://studfiles.net/ (accessed 10.04.2018 G.).

7. Electric arc metallization is the URL: http://www.weldsol.ru/ (accessed 10.04.2018 G.).

8. Matyushkin, B. A. Technological peculiarities of electric arc metallization in industry, agriculture [Text] / B. A. Matyushkin, V. I. Denisov, A. A. Tolkachev, Journal "Welding production". - 2016. Vol. 12. 46-50.

9. Thermal spraying [Electronic resource]. URL: http://ural-welding.ru/ru / articles/gazotermiskoe-napylenie / sverhzvukovoe-gazovozdushnoe-napylenie.html (date accessed: 01.04.2015).

10. Logachev, V. N. Electric arc metallization: towards the improvement of equipment and technologies [Text] / V. N. Logachev, N. N. Litovchenko // Journal "Proceedings of GOSNITI". - 2014. - T 117. - P. 228-234.

11. Litovchenko N. N. The influence of the velocity of heterophase flow on the physico-mechanical properties electrometallization flow [Text] / N. N. Litovchenko [et al.] / / Journal "Welding production". - 2013. – Vol. 6. - P. 43-47.

12. Lyalyakin V.P., Study of the process of gas-dynamic dispersion of the metal in electric arc metallising [Text] / V. P. Lyalyakin // Nauch. Tr. / UNITUBE "REMDETAL". - M., 1999. - Restoration and strengthening of machine parts. – P. 5-27.

13. Chavdarov, A.V. features of automatic welding systems acquisition [Text] / A.V. Chavdarov, V. p. Lyalyakin, D. I. Skoropupov / / "Welding production"Magazine. - 2017. – Vol. 2. - P. 39-44.

14. Panteleenko F.I., Lyalyakin V. P., Ivanov Accusative, Konstantinov V.M. Recovery of details of cars//Under the editorship of V. P. Ivanov / reference book. Moscow, 2003. 672 pages.

УДК 62-2.001.5.004.62/.63+62-2.001.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КВДУ КАК ИННОВАЦИОННОГО СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

Николай Владимирович Титов, кандидат технических наук, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация, e-mail: ogau@mail.ru; Виктор Иванович Денисов, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

В статье дается описание инновационного способа карбовибродугового упрочнения (КВДУ) рабочих органов почвообрабатывающих машин, который позволяет значительно увеличить их ресурс. При использовании данного способа на режущую поверхность рабочего органа наносится многокомпонентная паста, которая после высушивания расплавляется угольным электродом с образованием на упрочняемой поверхности металлокерамического покрытия. Одновременно происходит термодиффузионное насыщение металла рабочего органа углеродом. При проведении исследований в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ использовали порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе и порошок ПГ-10Н-01 на никелевой основе. В качестве керамических компонентов паст использовали карбид бора B4C и карбид кремния SiC. Для улучшения горения дуги в состав паст добавляли криолит. Определены микротвердость и износостойкость поверхностей, упрочненных КВДУ с использованием паст, содержащих указанные компоненты в различном процентном соотношении, проанализирована микроструктура полученных покрытий. По результатам проведенных исследований рациональной для КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин будет являться паста, содержащая 60% матричного порошка ПГ-ФБХ6-2 на железной основе, 30% карбида бора и 10% криолита. Указанный состав пасты обеспечивает повышение износостойкости упроченных рабочих органов в 2,2-2,3 раза. На основании проведенных исследований разработана универсальная технология КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин, которая может использоваться как для повышения ресурса новых рабочих органов, так и для восстановления с упрочнением изношенных.

Ключевые слова: *карбовибродуговое упрочнение, многокомпонентная паста, рабочий орган, микротвердость, износостойкость, микроструктура, почвообрабатывающие машины, матричный материал, керамические компоненты, криолит.*

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF CARBO-VIBRO-ARC HARDENING AS INNOVATIVE METHOD OF TILLAGE TOOL HARDENING

Nikolay V. Titov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: ogau@mail.ru
Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation

The article describes innovative method of carbo-vibro-arc hardening (CVAH) of tillage tools, which allows considerable increase of working elements resource. While using this method metal ceramic paste is applied to the working element cutting surface. At the same time there is a thermal diffusion saturation of metal of working body carbon. When carrying out researches as matrix material of multicomponent pastes for carbo-vibro-arc hardening used the powder ПГ-ФБХ6-2 on an iron basis and the powder ПГ-10Н-01 on a nickel basis. As ceramic components of pastes used boron carbide B4C and silicon carbide SiC. For improvement of burning of an arch added cryolite to composition of pastes. Microhardness and wear resistance of the surfaces being hardened with carbo-vibro-arc hardening using multicomponent pastes of different composition are determined; microstructure of the obtained coatings is analyzed. According to the results of the research, a rational for the carbo-vibro-arc hardening of working bodies of tillage machines will be a paste containing 60% of ПГ-ФБХ6-2 matrix powder on an iron basis, 30% of boron carbide and 10% of cryolite. Rational composition of the paste providing increase of tillage tool wear resistance in 2,2…2,3 times is determined according to the results of the carried out researches. On the basis of the conducted researches the carbo-vibro-arc hardening universal technology of working bodies of tillage machines which can be used as for increase in a resource of new working bodies, and for restoration with hardening of worn-out is developed.

Keywords: *carbo-vibro-arc hardening, multicomponent paste, working element, microhardness, wear resistance, microstructure, tillage machines, matrix material, ceramic components, cryolite.*

Введение. Рабочие органы отечественных и зарубежных почвообрабатывающих машин эксплуатируются в условиях прямого воздействия абразивных частиц, вследствие чего интенсивно изнашиваются. Так, например, средний ресурс лемехов плугов российского производства в зависимости от вида почв и их структуры составляет 5-20 га, плужных отвалов – 20-100 га, полевых досок – 20-60 га, стрельчатых лап культиваторов и посевных комплексов – 10-40 га, дисков борон и лущильников – 8-20 га [1-3].

Одним из путей повышения износостойкости и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин является применение упрочняющих технологий. Перспективным инновационным способом упрочнения, позволяющим значительно повысить износостойкость режущих поверхностей рабочих органов, является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ) с использованием многокомпонентных паст [4-10]. При КВДУ на упрочняемую поверхность наносится паста, содержащая металлическую матрицу, керамические компоненты и криолит. После высыхания паста расплавляется с использованием вибрирующего угольного электрода установки для КВДУ. При горении электрической дуги на упрочняемой режущей поверхности из компонентов пасты образуется металлокерамическое покрытие. Одновременно происходит термодиффузионное насыщение металла упрочняемого рабочего органа углеродом за счет его диффузии вследствие сублимации угольного электрода.

В настоящее время способ КВДУ находится в состоянии развития. Пока еще остаются не до конца изученными вопросы, связанные с выбором рациональных режимов КВДУ и составов используемых многокомпонентных

паст. В опубликованных научных работах по данному направлению в качестве матрицы многокомпонентных паст используют в основном порошки на никелевой основе (чаще всего порошок ПГ-10Н-01) [5-8, 11-13]. В то же время пока еще не проводились комплексные исследования по использованию в составах паст в качестве матрицы порошков на железной основе, которые имеют большее сродство с материалом упрочняемого рабочего органа. Их использование должно позволить существенно улучшить структуру и физико-механические свойства получаемых при КВДУ металлокерамических покрытий.

Цель исследований. Обоснование целесообразности использования в составе многокомпонентных паст для КВДУ порошков на железной основе в качестве матричного материала.

Материалы и методы. При проведении исследований в качестве матричного материала многокомпонентных паст для КВДУ использовали порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе и порошок ПГ-10Н-01 на никелевой основе. В качестве керамических компонентов паст использовали карбид бора B4C и карбид кремния SiC. Содержание криолита в составе всех паст принималось равным 10% [4-7, 12-21]. Связующим веществом являлся 50% водный раствор клея ПВА. После приготовления пасты наносили на металлическую подложку из стали 65Г слоем толщиной 2,0-2,2 мм и высушивали до затвердевания. КВДУ осуществляли с использованием установки ВДГУ-2 на следующих режимах: сила тока –70 А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 25 Гц и 1,1 мм соответственно.

Микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ на пастах различного состава, определяли на поперечных шлифах с использованием компьютеризированного микротвердомера КМТ-1 по методу Виккерса при нагрузке F=1Н и времени выдержки t=15 с. Количество измерений принималось равным трем.

Измерение полученных отпечатков производилось с помощью видеоустройства, подключенного к персональному компьютеру. Для приготовления поперечных шлифов образцы вначале отрезались на высокоточном отрезном станке «Minitom Struers». Далее они помещались в автоматический электрогидравлический пресс «CitoPress-1 Struers», где запрессовывались в смолу. Готовый диск с образцами полировался на шлифовально-полировальном станке «LaboPol-5 Struers» с использованием эмульсий до зеркального блеска.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования позволили установить, что наиболее высокую микротвердость имеют покрытия, сформированные с использованием многокомпонентных паст, в состав которых входит матричный порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе и карбид бора в качестве упрочняющего компонента.

При использовании данных компонентов в составе паст среднее значение микротвердости на поверхности покрытий составляет 1012 HV и 1160 HV при содержании карбида бора 20% и 30% соответственно (рис. 1). При использовании в составе пасты матричного порошка ПГ-10Н-01 на никелевой основе микротвердость полученных покрытий становится более низкой (в среднем 925 HV при добавлении 20% карбида бора и 1065 HV при добавлении 30% карбида бора).

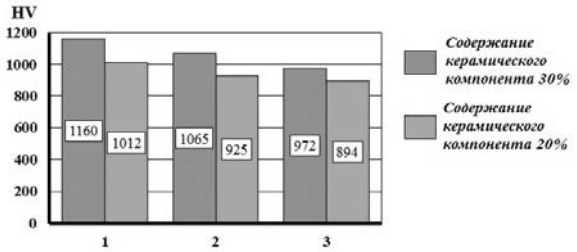


Рис. 1. Изменение микротвердости HV на поверхности металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ. Используемые пасты: ПГ-ФБХ6-2 (матрица), карбид бора (1); ПГ-10Н-01 (матрица), карбид бора (2); ПГ-ФБХ6-2 (матрица), карбид кремния (3)

Исследованиями многих ученых установлено, что на границе с основным металлом микротвердость металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ, имеет более низкие значения, чем на поверхности [8, 12-15]. Проведенные в данной работе исследования подтвердили ранее полученные результаты, при этом микротвердость металлокерамических покрытий, полученных на пастах, содержащих матричный порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе и карбид бора, вновь оказалась наиболее высокой. Так, при использовании данных компонентов в составе паст среднее значение микротвердости покрытий составляет 736 HV и 845 HV при содержании карбида бора 20% и 30% соответственно (рис. 2). При использовании в составе пасты матричного порошка ПГ-10Н-01 на никелевой основе микротвердость полученных покрытий вновь является более низкой (в среднем 705 HV при добавлении 20% карбида бора и 803 HV при добавлении 30% карбида бора).

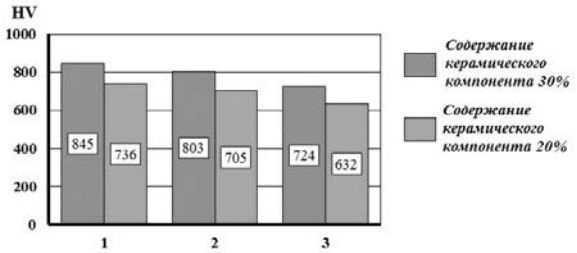


Рис. 2. Изменение микротвердости HV металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ, на границе с основным металлом. Используемые пасты: ПГ-ФБХ6-2 (матрица), карбид бора (1); ПГ-10Н-01 (матрица), карбид бора (2); ПГ-ФБХ6-2 (матрица), карбид кремния (3)

Износостойкость и ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин, упрочненных КВДУ и работающих в условиях абразивного изнашивания, значительно зависят не только от твёрдости, но и от состояния границы металлокерамического покрытия с основным металлом, т.е. от эффекта расплавления основного металла и смешивания его с расплавом пасты. Наиболее полное представление о структуре металлокерамического покрытия и упрочненного основного металла дает микроструктурный анализ. Проведенные исследования позволили установить, что независимо от состава используемых паст полученные при КВДУ металлокерамические

покрытия состоят из двух характерных зон – основной и переходной. В то же время структура и плотность покрытий, полученных с использованием разных паст, имеет существенные различия. При использовании порошка ПГ-ФБХ6-2 на железной основе структура металлокерамического покрытия плотная и практически беспористая. При использовании порошка ПГ-10Н-01 на никелевой основе структура покрытия менее плотная и содержит значительное количество пор различного размера. Полученные результаты позволяют объяснить, почему покрытия, полученные на пастах, матрицей которых является порошок ПГ-ФБХ6-2, имеют наибольшие средние значения микротвердости как на поверхности покрытия, так и на границе раздела с основным металлом.

Выводы. Таким образом, по результатам проведенных исследований рациональной для КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин будет являться паста, содержащая 60% матричного порошка ПГ-ФБХ6-2 на железной основе, 30% карбида бора и 10% криолита. Результаты сравнительных испытаний на изнашивание упрочненных при помощи данной пасты и неупрочненных образцов из закаленной стали 65Г показали, что после упрочнения их износостойкость возрастает в среднем в 2,2-2,3 раза. В связи с этим использование пасты такого состава должно позволить существенно увеличить ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин.

На основании комплекса проведенных научных исследований разработана универсальная технология КВДУ рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием многокомпонентных паст, содержащих матричный порошок на железной основе. Она может использоваться не только для повышения ресурса новых рабочих органов, но и для восстановления с упрочнением изношенных. В этом случае перед упрочнением осуществляют восстановление рабочего органа привариванием компенсирующего износ элемента. Номенклатура рабочих органов почвообрабатывающих машин, а также их масса и конфигурация ограничений для упрочнения способом КВДУ не имеют. Упрочнение можно осуществлять как в стационарных условиях на специализированных предприятиях, занимающихся изготовлением техники, так и в небольших мастерских и даже в полевых условиях при наличии источника электрической энергии. Использование предлагаемой универсальной технологии в производстве особенно актуально с позиций импортозамещения на рынке запасных частей, а также введенных против Российской Федерации санкций и снижения покупательной способности сельхозтоваропроизводителей.

Библиографический список

1. 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 сельскохозяйственной науки. 2013. N2. С. 80-81.

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

3. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники / Вестник российской сель-

скохозяйственной науки. 2012. N3. С. 5-7.

4. Лялякин В.П., Сидоров С.А., Зволинский В.Н. Особенности и перспективы повышения работоспособности полольных лап пропашных культиваторов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 128-139.

5. Михальченков А.М. Влияние тыльной наплавки малоуглеродистыми электродами на абразивное изнашивание восстановленных долот // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. N2. С. 187-191.

6. Лялякин В.П., Голубев И.Г. Перспективы восстановления деталей сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2016. №4. С. 41-43.

7. Титов Н.В. Повышение долговечности рабочих органов плугов карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 256-261.

8. Титов Н.В., Коломейченко А.В, Виноградов В.В. и др. Исследование влияния режимов и параметров карбовибродугового упрочнения на толщину металлокерамического покрытия // Техника и оборудование для села. 2016. №9. С. 34-37.

9. Kolomeichenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V., Stolin A.M., Bazhin P.M. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing // Welding International. 2017. V. 31. N9. P. 739-742.

10. Коломейченко А.В., Титов Н.В., Виноградов В.В. Результаты производственных испытаний стрельчатых лап зарубежной почвообрабатывающей техники, упрочненных методом КВДУ // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т.119. С. 170-175.

11. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Logachev V.N., Kravchenko I.N., Litovchenko N.N. Investigation of the hardness and wear resistance of working sections of machines hardened by vibroarc surfacing using cermet materials // Welding International. 2015. 29. N9. P. 737-739.

12. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Litovchenko N.N. Innovative method of tillage tool hardening // Vestnik OrelGAU. 2014. №2(47). P. 42-48.

13. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 96-104.

14. Коломейченко А.В., Титов Н.В., Виноградов В.В. и др. Исследование микроструктуры композиционных металлокерамических покрытий, полученных карбовибродуговой наплавкой // Сварочное производство. 2016. №11. С. 3-7.

15. Титов Н.В., Коломейченко А.В. Универсальная технология восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 291-297.

16. Лялякин В.П., Титов Н.В., Литовченко Н.Н. и др. Карбовибродуговой метод упрочнения деталей машин, работающих в условиях абразивного износа, наплавкой металлокерамики (КВДНМК) // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т.114. С. 144-149.

17. Титов Н.В. Повышение износостойкости рабочих поверхностей стрельчатых лап почвообрабатывающих машин карбовибродуговым упрочнением // Техника и оборудование для села. 2015. №11. С. 38-41.

18. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В., Басинюк В.Л. Особенности зажигания электрической дуги при карбовибродуговом упрочнении рабочих органов сельскохозяйственных машин // Техника и оборудование для села. 2016. N4. С. 34-38.

19. Титов Н.В., Литовченко Н.Н., Коротков В.Н. Метод вибродуговой наплавки металлокерамики деталей техники, работающей в условиях абразивного износа // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т.111. Ч.2. С. 219-222.

20. Литовченко Н.Н., Куликов В.Н., Титов Н.В. Вибродуговая наплавка графитовым электродом нанометаллокерамических композиционных материалов // Сварочное производство. 2013. №2. С. 51-53.

21. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин // Под ред. В.П. Иванова / справочник. М.: 2003. 672 с.

References

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaitsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispolzovanie bimetalicheskikh staley dlia povysheniya resursa rabochih organov selskokhoziaystvennyh mashin // Vestnik rossiyskoy selskokhoziaystvennoy nauki. 2013. N2. 80-81.

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

3. 2. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskii Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosienko S.A. Nauchnye principy povysheniya iznosostoykosti rabochih organov pochvoobrabatyvaushcheyi tekhniki / Vestnik rossiyskoy selskokhoziaystvennoy nauki. 2012. N3. 5-7.

4. Lyalyakin V.P., Sidorov S.A., Zvolinsky V.N. Characteristics and prospects of performance increase of interrow cultivators weed blades // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2016. Vol. 123. p.p. 128-139. (In Russian).

5. Mikhalchenkov A.M. Effect of rear deposition by low carbon electrodes on abrasive wear of the reconditioned chisels // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2013. Vol. 111. № 2. p.p. 187-191. (In Russian).

6. Lyalyakin V.P., Golubev I.G. Prospective of reconditioning of agricultural machinery elements // Machinery and Equipment for Rural Area. 2016. №4. p.p. 41-43. (In Russian).

7. Titov N.V. Increase of plow working elements durability by carbo-vibro-arc hardening of their cutting surfaces // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2016. Vol. 125. p.p. 256-261. (In Russian).

8. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Vinogradov V.V. et. al. Investigation of influence of modes and parameters of carbo-vibro-arc hardening on the metal ceramic coating thickness // Machinery and Equipment for Rural Area. 2016. №9. p.p. 34-37. (In Russian).

9. Kolomeichenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V., Stolin A.M., Bazhin P.M. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing // Welding International. 2017. V. 31. № 9. p.p. 739–742. (In English).

10. Kolomeichenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. Results of production tests of A-blades of foreign tillage machinery hardened by carbo-vibro-arc hardening method // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2015. Vol.119. p.p. 170-175. (In Russian).

11. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Logachev V.N., Kravchenko I.N., Litovchenko N.N. Investigation of the hardness and wear resistance of working sections of machines hardened by vibroarc surfacing using cermet materials // Welding International. 2015. V. 29. № 9. p.p. 737–739. (In English).

12. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Litovchenko N.N. Innovative method of tillage tool hardening // Vestnik OrelGAU. 2014. №2(47). p.p. 42-48. (In English).

13. Lyalyakin V.P., Solovyev S.A., Aulov V.F. Condition and prospective of hardening and reconditioning of tillage machine elements by welding depositing methods // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2014. Vol. 115. p.p. 96-104. (In Russian).

14. Kolomeichenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. et. al. Investigation of microstructure of compositional metal and ceramic coatings obtained by carbo-vibro-arc surfacing // Welding International. 2016. №11. p.p. 3-7. (In Russian).

15. Titov N.V., Kolomeichenko A.V. Universal technology of reconditioning and hardening of tillage tools // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2015. Vol.121. p.p. 291-297. (In Russian).

16. Lyalyakin V.P., Titov N.V., Litovchenko N.N. et. al. Carbo-vibro-arc method of

part hardening of machines operating in the abrasive wear conditions by metal ceramic surfacing (CVA-MCS) // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2014. Vol.114. p.p. 144-149. (In Russian).

17. Titov N.V. Wear resistance increase of working surfaces of tillage machine A-blades by carbo-vibro-arc hardening // Machinery and Equipment for Rural Area. 2015. №11. p.p. 38-41. (In Russian).

18. Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Vinogradov V.V., Basinyuk V.L. Characteristics of electric arc ignition at carbo-vibro-arc hardening of agricultural machines working elements // Machinery and Equipment for Rural Area. 2016. № 4. p.p. 34-38. (In Russian).

19. Titov N.V., Litovchenko N.N., Korotkov V.N. Method of vibro-arc surfacing of metal ceramics of parts of machinery working in the abrasive wear conditions // Proceedings of State Scientific Research Technological Institute of Repair and Operation of Tractors and Agricultural Machinery. 2013. Vol.111. P. 2. p.p. 219-222. (In Russian).

20. Litovchenko N.N., Kulikov V.N., Titov N.V. Short-circuited surfacing by graphite electrode of nanometalloceramic composite materials // Welding international. 2013. №2. p.p. 51-53. (In Russian).

21. Panteleenko F.I., Lyalyakin V. P., Ivanov Accusative, Konstantinov V.M. Recovery of details of cars//Under the editorship of V. P. Ivanov / reference book. Moscow, 2003. 672.

УДК 621.9.047

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОСАЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗМАШИН

Сергей Юрьевич Жачкин, доктор технических наук,
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Российская Федерация;
Валентин Павлович Лялякин, доктор технических наук,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация, valpal-1938@mail.ru;
Никита Алексеевич Пеньков, кандидат технических наук,
Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,
г. Воронеж, Российская Федерация;
Марина Николаевна Краснова, кандидат технических наук, доцент,
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Российская Федерация

Реферат. *В представленном исследовании рассмотрены теоретические аспекты процесса нанесения композитных гальванических покрытий на основе хромовой матрицы на токопроводящие поверхности различных деталей методом гальваноконтактного осаждения (ГКО). Приведены аналитические зависимости, связывающие параметры физико-механических характеристик покрытия с технологическими режимами осаждения покрытий и конструктивными особенностями оборудования, используемого в процессе. Представленные в работе рассуждения основаны на допущении о незначительности давления инструмента на восстанавливаемую поверхность в сравнении с прочностными показателями наносимого покрытия. В рассматриваемых допущениях оказывается удобным использование не относительной деформации, как таковой, а её логарифмической степени. Предложенный набор допущений позволяет провести количественный анализ дефектов обработки поверхностей цилиндрических тел. В ходе исследований было выяснено, что причиной дефектов являются несовпадение оси симметрии цилиндра с его осью вращения и отсутствие согласования между угловой скоростью вращения детали и скоростью возвратно-поступательного движения инструмента вдоль оси обрабатываемой детали. Представленные расчеты позволяют сделать заключение о минимизации зоны неравномерного нанесения покрытия путем согласования движений инструмента и детали. Высокая степень совпадения подтверждается экспериментальными данными. Производилось исследование технологического процесса по восстановлению изношенных поверхностей деталей с использованием метода ГКО и получению на таких поверхностях износостойких герметичных хромовых покрытий, содержащих сжимающие остаточные напряжения с повышенной адгезией к основе. Осаждение покрытий производилось в стандартном электролите хромирования, содер-*

жащем 200-250 г/л CrO3 и 2,0-2,5 г/л H2SO4, имеющем широкое применение на ремонтно-восстановительных предприятиях.

Ключевые слова: *гальванические композитные покрытия, поверхностный слой, элементарный смещенный объем.*

MODELING OF SEDIMENTATION REGIMES OF COMPOSITE GALVANIC DISPERSED-HARDENED COATINGS DURING RESTORATION OF PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Sergey Yu. Zhachkin, Professor, Doctor of Technical Sciences,
Federal State Educational Institution of Higher Education
«Voronezh State Technical University (VSTU)»,
Valentin P. Lyalyakin,
Doctor of Technical Sciences, Professor, main specialist,
Federal State Budget Scientific Institution
Federal Sceince Agricultural Center VIM, valpal-1938@mail.ru,
Nikita A. Penkov, head of laboratory, Candidate of Technical Sciences,
Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»
Marina N. Krasnova, Deputy Head of the Department,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University (VSTU)»,

Annotation. *In the present study the theoretical aspects of the process of applying composite galvanic coatings on the basis of a chromium matrix on current-conducting surfaces by the method of galvanic contact deposition (GKO) are considered. Analytical dependencies connecting the parameters of the physical and mechanical characteristics of the coating with the technological modes of deposition of coatings and the structural features of the equipment used in the process are presented. The arguments presented in the scientific article are based on the assumption of a unsignificant pressure of the tool on the surface to be restored in comparison with the strength of the coating applied. In the considered assumptions it is convenient to use not the relative deformation, but its logarithmic degree. The proposed number of assumptions allows to make the quantitative analysis of deformations of the surfaces that have the shape of cylinder. During the research it was found that the cause of the defects is the mismatch of the axis of symmetry of the cylinder with its axis of rotation and the lack of coordination between the angular velocity of rotation of the detail and the frequency of reciprocation of the tool along the axis of the workpiece. Presented calculations allow to make a summary about the minimization of the area of the uneven coating through coordination of the movements of the tool and the workpiece. The high degree of coincidence is confirmed by experimental data. Produced research of technological process to restore worn surfaces of parts using the GKO method and receipt on such surfaces sealed wear-resistant chromium coatings containing compressive residual stress with improved adhesion to the substrate. Deposition of coatings was carried out in a standard chromium plating electrolyte containing 200-250 g/l CrO_3 and 2.0-2.5 g/l H_2SO_4, which is widely used in the repair and restoration enterprises.*

Keywords: *galvanic composite coatings, surface layer, elementary displaced volume.*

Введение. За время существования техники различного назначения вопросу эксплуатации транспортных средств всегда уделялось повышенное внимание. Это связано прежде всего с тем, что спектр решаемых ими задач непрерывно растет. Поэтому необходимо решать не только вопрос сохранения используемой техникой бесперебойной эксплуатации в течение установленной нормативными документами наработки до списания, но и вопрос повышения её работоспособности, в том числе и путем восстановления изношенных узлов и агрегатов.

Цель исследования. Стандартное гальваническое восстановление деталей хромированием, с успехом применявшееся столь длительное время, несмотря на всю его простоту использования в последнее время не отвечает требованиям современной техники и технологий по качеству покрытий, применяемых при восстановлении деталей сельскохозяйственных машин. В связи с этим в последнее время получили широкое развитие и внедрение в производство модернизированные методы восстановления деталей хромированием.

Учитывая вышеизложенное, и основываясь на имеющемся теоретическом и практическом заделе по проблеме восстановления деталей хромированием с одновременной активацией катода, был предложен ранее разработанный способ восстановления деталей, заключающийся в совмещении процесса гальванического нанесения покрытия и его одновременной механической обработкой в процессе осаждения с возможностью регулирования скорости восстановления конкретного участка поверхности детали, в зависимости от его износа [1]. Метод получил название гальваноконтактного осаждения (ГКО). Целью данной работы является моделирование режимов осаждения композитных гальванических дисперсно-упрочненных покрытий.

Материалы и методы. Производилось исследование технологического процесса по восстановлению изношенных поверхностей деталей с использованием метода ГКО и получению на таких поверхностях износостойких герметичных хромовых покрытий, содержащих сжимающие остаточные напряжения, с повышенной адгезией к основе. Осаждение покрытий производилось в стандартном электролите хромирования, содержащем 200-250 г/л CrO_3 и 2,0-2,5 г/л H_2SO_4, имеющем широкое применение на ремонтно-восстановительных предприятиях.

Точность поддержания температуры электролита составляла 1К, что достигалось использованием термометра ТПП – 11 ГОСТ 13717 – 74 и контролировалась термометром ТН 5 ГОСТ 400 – 80 с ценой деления шкалы 0,2К.

Результаты и обсуждения. Пластическая деформация осаждаемого кристалла покрытия всегда сопровождается его упругой деформацией [1]. Следовательно, размеры тела в конечный момент его нагружения отличаются от его размеров при снятии нагрузки.

Для представления логарифмической степени деформации надо взять интеграл бесконечно малого приращения рассматриваемого размера тела или его элемента, отнесенного к его величине в каждый данный момент деформации

$$\delta_x = \int_{x_н}^{x_д} \frac{dx}{x} = \ln x \int_{x_н}^{x_д} dx = \ln \frac{X_д}{X_н} \qquad (1)$$

С другой стороны, большой интерес представляет выражение степени деформации как отношение приращения размера к начальному размеру:

$$\varepsilon_i = \frac{X_д - X_и}{X_и} = \frac{\Delta x_i}{X_и} \quad (2)$$

В связи с тем, что усилия инструмента при его воздействии на осаждаемое покрытие крайне незначительны по сравнению с механическими свойствами наносимого покрытия, можно считать, что в данном случае имеет место малая деформация [3] (степень деформации менее 0,01). Для малых деформаций

$$V\varepsilon_x + V\varepsilon_y + V\varepsilon_z = 0 \quad (3)$$

Таким образом, сумма произведений объема на логарифмические степени деформаций (сминаемый объем) по взаимно перпендикулярным направлениям равна нулю.

В случае пластической деформации элементарного объема $F_z = V/z$ [1], тогда

$$V_{cz} = V \int_{Z_И}^{Z_Д} \frac{dz}{z} \quad (4)$$

где $Z_и$ – исходная высота осажденного слоя;

$Z_д$ – высота осажденного слоя после деформации.

Интегрируя, получим

$$V_{cz} = V \ln \frac{Z_Д}{Z_И} = V\delta_z \quad (5)$$

Подобная схема послойной деформации для определения степени и скорости деформации была выбрана не случайно. Она была представлена в работах [1, 2] и экспериментально проверена в работе [3].

Учитывая вышеизложенное, представляется возможным выразить степени деформации и смещенные объемы не только через линейные размеры, но и через площади сечений, нормальных к оси координат, в направлении которой рассматривается степень деформации и смещенный объем:

$$\delta_x = \ln \frac{X_д}{X_и} = \ln \frac{F_{их}}{F_{дх}} = -\ln \frac{F_{дх}}{F_{их}}$$

$$\varepsilon_x = \frac{X_д - X_и}{X_и} = \frac{\Delta x}{X_и} = \frac{F_{их} - F_{дх}}{F_{дх}} = -\frac{\Delta F_x}{F_{дх}} \quad (6)$$

Аналогично можно получить выражения для вычисления степеней деформации по направлениям осей координат y и z.

Проводимые исследования в ходе восстановительных работ путем нанесения хромового покрытия с одновременной активацией осаждаемого покрытия показали, что не вся поверхность цилиндрического образца подвергается механической обработке [3]. Иногда необработанными остаются скошенные полосы вблизи основания цилиндра и лепестковые зоны на боковой поверхности детали [3].

Причины возникновения дефектов обработки поверхности цилиндрических тел, как показано ниже, заключаются в следующих обстоятельствах: несовпадении оси симметрии цилиндра с его осью вращения и отсутствии

согласования между угловой скоростью вращения образца и скоростью возвратно-поступательного движения инструмента вдоль оси заготовки.

Рассмотрим цилиндр высотой H и радиусом основания R, вращающийся вокруг своей оси BB_1, смещенной относительно оси цилиндра, как показано на рисунке 1. Вводим следующие расчетные ограничения $OB = \varepsilon_1$, $O_1B_1 = \varepsilon_2$ и $\angle B_1O_1C = \alpha$.

Угол между осью вращения и осью цилиндра из направляющего косинуса оси BB1 – cosγ.

Пусть p = R/H, $\varepsilon = \varepsilon_1/R$ – малый параметр, $\delta = \varepsilon_2/\varepsilon_1 = 1 + O_{(\varepsilon)}$, где $O_{(\varepsilon)}$ – величина, имеющая тот же порядок малости, что и ε.

Тогда величину угла между осью вращения и осью цилиндра получим в виде:

$$\gamma \approx p\varepsilon\sqrt{2(1+\delta\cos\alpha)} \tag{7}$$

Отметим, что в соответствии с формулой (16) значение γ пропорционально линейной ошибке ε. Зависимость же от угловой ошибки α при малых углах слабее.

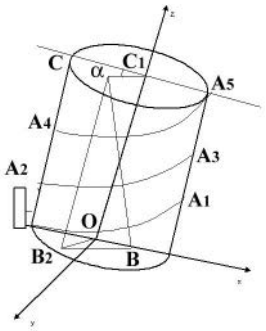


Рис. 1. Схема расположения заготовки относительно инструмента

В действительности из-за продавливания инструментом наращиваемого слоя на поверхности покрытия, контакт осуществляется не в точке, а в некоторой зоне, шириной l. В этом случае для минимизации площади необработанной поверхности цилиндра необходимо согласование угловой скорости вращения цилиндра и скорости поступательного движения инструмента.

Если глубина продавливания покрытия равна h, и контакт происходит на кромке инструмента, имеющего в плане форму сегмента круга радиуса r, то ширина зоны контакта легко находится. В этом случае условие согласования скоростей принимает вид

$$v \approx 0{,}45\omega r\sqrt{\frac{h}{r}(1-0{,}25\frac{h}{r})} \tag{8}$$

В каждом конкретном случае площадь контакта композитных брусков с обрабатываемой поверхностью детали постоянна. Была предложена формула, прошедшая экспериментальную проверку, для определения начального давления инструмента в период выравнивания:

$$P = \frac{\sigma_s}{1000}(1+\frac{\mu_s h}{2a}) \tag{9}$$

где: σ_s – предел прочности наносимого материала, кг/см2;

μ_s – коэффициент контактного трения;

а – длина инструмента.

Второй этап восстановления проводится при нормальном давлении инструмента, рассчитываемым по выражению (2), что обеспечивает получение качественных хромовых покрытий значительной толщины (получены износостойкие герметичные покрытия толщиной 550 мкм на сторону):

$$P_k = (1 - \frac{T - T_0}{10\eta} k_T) \frac{s_k}{1000} \sigma_s (1 + \frac{\mu_s h}{2a}) \quad (10)$$

где: Т – толщина покрытия, мкм;

T_0 – элементарная толщина слоя покрытия, которая не требует дополнительной регулировки давления инструмента, мкм;

η – толщина слоя покрытия, осаждаемого за одну минуту, мкм;

S_k – площадь контакта инструмента с деталью, дм^2;

h – толщина слоя, осаждаемого за один оборот детали, мкм;

а – длина инструмента, мм.

Выводы. Была теоретически разработана и экспериментально исследована зависимость давления инструмента от этапов восстановления, реализуемых технологией ГКО, позволяющая получать качественные толстые покрытия (в частности хромовые) с заданными физико-механическими и, как следствие эксплуатационными свойствами.

Библиографический список

1. Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей / Воронеж / ВГТУ. 2002. 138 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Сидоркин О.А., Нелысов С.В., Беленцов В.Г. Напряжения в композитных материалах, используемых при ремонте деталей машин // Труды ГОСНИТИ. М., 2016. Т.124. -Ч. 2. С. 52-57.

3. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. Восстановление гидрораспределителей сельскохозяйственной техники композитным гальваническим покрытием на основе хромовой матрицы //Труды ГОСНИТИ. М., 2012. Т. 109. Ч 2. С. 89-93.

4. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Михайлов В.В., Зибров Г.В. Системный анализ при моделировании напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при нанесении покрытий методом ГКО // Вестник МичГАУ. Мичуринск-наукоград, 2013. N6. С. 63-67.

5. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды // Издательство МГУ. М.: 1971. 248 с.

6. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении // Издательство «Машиностроение». М.: 1985. Т. 1. 240 с.

7. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. Управление свойствами гальванических композитных покрытий, применяемых для восстановления деталей сельхозмашин // Труды ГОСНИТИ. М., 2015. Т. 118. С. 210-213.

8. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Сидоркин О.А., Нелысов С.В. К вопросу о расчете объемного и сдвигового модуля упругости композиционных материалов // Наука в центральной России. Тамбов. 2016. С. 29-30.

9. Налимов В.В. Теория эксперимента // Издательство «Наука» М.: 1971. 208 с.

10. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. Модернизация методики измерения прочности сцепления электролитических покрытий с основой // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115 годовщине со дня рождения профессора Харитончика Ефима Мироновича. Сборник статей «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных ре-

жимах движения». Воронеж, 2017. С. 40-3.

11. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 1995. 296 с.

References

1. Zhachkin S.Yu. Cold galvanic contact recovery of parts. Voronezh. VSTU. 2002. 138.

2. Zhachkin S.Yu. Stresses in composite materials used for repairing machine parts / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, O.A. Sidorkin, S.V. Nelysov, V.G. Belentsov / Proceedings of GOSNITI. M.: 2016. T. 124. Part 2. 52 - 57.

3. Zhachkin S.Yu. Restoration of hydraulic distributors of agricultural machinery by a composite galvanic coating on the basis of a chromium matrix / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov / Proceedings of GOSNITI. M., 2012. T. 109 part 2. 89 – 93.

4. System analysis in modeling the stress-strain state of the surface layer when applying coatings deposited by the method of GKO / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, V.V. Mikhajlov, G.V. Zibrov / Bulletin of MichGAU. – Michurinsk-Naukograd, 2013. N6. 63-67.

5. Continuum mechanics / A.A. Ilushin / Publishing of MGU. Moskow. 1971. 248.

6. Galvanic coatings in the engineering / M.A. Schluger / Publishing «Engineering». – Moscow – 1985. V. 1.240.

7. Control of the properties of electroplated composite coatings used for restoration of agricultural machinery parts / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov / Proceedings of GOSNITI. – M., 2015. V. 118. 210-213.

8. On calculation of volume and shear modulus of elasticity of composite materials / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov, O.A. Sidorkin, S.V. Nelysov / Science in central Russia. – Tambov, – 2016. 29-30.

9. The theory of the experiment / V.V. Nalimov / Publishing house «Science». – M., 1971. 208.

10. Modernization of measurement methods of strength of the applied coatings / S.Yu. Zhachkin, N.A. Penkov / The materials of International material and practical conference? dedicated to the 115 anniversary of the birthday of professor Kharitonchik Ephim Mironovich / Collections of articles « Increase of efficiency of use of mobile power facilities in various modes of movement ». Voronezh, 2017. 40-43.

11. Batishchev A.N., Golubev I.G., Lyalyakin V. P. Recovery of details of agricultural machinery/M: Rosinformagrotekh. Moscow, 1995. 296.