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

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

№1 (134) 2019

Теоретический и научно-практический журнал «Технический сервис машин» является правопреемником издания «Труды ГОСНИТИ», основанного в 1963 году. Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) св-во, о рег. ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 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, главный научный сотрудник ФНАЦ ВИМ (valpal-1938@mail.ru.

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

Дорохов А.С. – д.т.н., чл.-корр. РАН – зам. директора ФНАЦ ВИМ – член совета (dorokhov@rgau-msha.ru).

Денисов В.А. – д.т.н. – зав.отделом ФНАЦ ВИМ – член совета (va.denisov@mail.ru).

Иванов В.П. – д.т.н., профессор Полоцкого государственного университета Республики Беларусь, член совета.(ivprem@tut.bu).

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).

Кешуов С.А. – д.т.н., профессор, Казахский НИИМЭСХ Республики Казахстан, член совета (kazniimesh@yandex.kz).

Габитов И.И. – д.т.н., профессор, 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).

Несмиян А.Ю. – д.т.н., профессор кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса» Азово-Черноморского инженерного института Донского Государственного аграрного университета (nesmiyan.andrei@yandex.ru).

Елизаров В.П. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФНАЦ ВИМ (elizarov-vp@yandex.ru).

Жалнин Э.В. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФНАЦ ВИМ (zhalnin@yandex.ru).

Адрес редакции: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5.
Тел. 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: valpal-1938@mail.ru

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

Выходит 4 раза в год.
Подписано в печать 15.03.2019 г., Формат 60 х 84/8. Объем 28,5 п.л., Тираж 100 экз., заказ 948.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

«Технический сервис машин» включен 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, 2019

Theoretical and scientific-practical publication «Machinery technical service» was founded in 1963. The founder and publisher is the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (FSBSI FSAC VIM). Proceedings are registered with the Federal Service for Supervision in the Area of Communications of Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor) ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018.

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, FSAC VIM , chief researcher (valpal-1938@mail.ru).

Soloviev S.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Member of corr. RAS (serg_solovev_56@mail.ru).

Dorokhov A.S. – Doctor of Technical Sciences, member of the corr.RAS - deputy director of FNAC VIM (dorokhov@rgau-msha.ru).

Denisov V.A. – Doctor of Technical Sciences – Head of the Department of the FSAC VIM (va.denisov@mail.ru) .

Ivanov V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Polotsk State University of the Republic of Belarus (ivprem@tut.by).

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 (saidchist@mail.ru).

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 (kazniimesh@yandex.kz).

Gabitov I.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor, 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 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. Ogarev (vice-rector-innov@adm.mrsu.ru).

Nesmiyan A.Y. – Doctor of Technical Sciences, Professor, of the Department of «Technologies and means of mechanization of agro-industrial complex» of Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University (nesmiyan.andrei@yandex.ru).

Elizarov V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor, chief researcher of FSAC VIM (elizarov-vp@yandex.ru).

Zhalnin E.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor,chief researcher of FSAC VIM (zhalnin@yandex.ru).

Actual address of the editorial office: 109428, Moscow, 1 st Institutsky pr., 5.
Phone: 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: valpal-1938@mail.ru
Certificate of registration:
ПИ №ФС77-72932 from 25.05.2018.
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.

«Machinery technical service» is 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

Абрамов И.Л.
Применение компьютерного моделирования для оценки качества проектирования и производства деталей сельскохозяйственных машин 12
Данилов И.К., Марусин А. В., Данилов С.И., Марусин А.В.
К вопросу диагностирования аккумуляторной топливной системы дизелей сельскохозяйственного назначения 19
Иванов В.П., Вигерина Т.В.
Области рационального использования специального оборудования в ремонтном производстве 26
Игнатов В.И., Герасимов В.С.
Современные тенденции рециклинга техники. 34
Кочуров А.А., Зуб Д.В., Аксенов А.З.
Автоматизированное рабочее место регулировщика топливной аппаратуры на основе безмензурочного одноканального метода измерения параметров 40
Лебедев А.Т., Арженовский А.Г.
Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов 46
Левин М.Ю., Нагорнов С.А.,Левина Е.Ю.
Применение цифрового интеллектуального управления нефтескладом для защиты резервуаров от аварий 53
Мишина З.Н.
Востребованность в нормативах планирования затрат средств на техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники 61
Костомахин М.Н., Воронов А.Н.
Определение обобщенного коэффициента при оценке показателей надежности самоходных сельскохозяйственных машин 68
Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г.
Оптимизация конструктивных параметров тракторных пневматических шин 75
Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Поспелов А.Р.
Перспективы контроля качества и условий эксплуатации имеющегося парка МЭС за счет использования цифровых технологий 83
Свиридов А.С., Тужилин С.П., Лопатина Ю.А.
Использование цифровой 3D-фермы для использования в ремонтном производстве сельскохозяйственной техники 93
Михлин В.М.
К 90-летию со Дня рождения 100

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ 103

Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Дубновицкий С.К., Шабун В.В.
Коррозионная стойкость деталей из легированных сталей после
магнитно-абразивной обработки 104
Бурак П.И., Латыпов Р.А., Серов А.В., Серов Н.В.
Использование цифровых технологий при исследовании и моделировании
процессов, протекающих при электроконтактной приварке 113
Габитов И.И., Неговора А.В., Разяпов М.М., Гусев Д.А.
Оптимизация процесса тепловой подготовки сельскохозяйственной техники в
условиях низких температур 122
Сайфуллин Р.Н., Гаскаров И.Р., Ямалетдинов Р.К.
Детали машин, восстановленные электроконтактной приваркой присадочных
материалов на блочно-модульной установке 131
Сайфуллин Р.Н., Прига В.Г.
Современные установки для электроискрового
наращивания и упрочнения изделий 139
Рещиков Е.О., Задорожний Р.Н., Иванов В.И.
Исследование триботехнических свойств титановых сплавов с покрытиями,
полученными электроискровым легированием 146
Зеленьков С.М., Лавров Ю.Г.
Гипотеза формирования поверхности трения с применением
триботехнического состава «СУПРОТЕК» 155
Юдин В.М., Кулаков К.В.
Восстановление внутренних поверхностей отверстий деталей железнением 163
Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П.
Кремниевое покрытие SilcoPateks для предотвращения нагара и отложений на
деталях машин и оборудования 170
Сидоров С.А., Зволинский В.Н.
Повышение прочностных характеристик рабочих органов
почвообрабатывающих машин путем защиты определенных
зон от интенсивного абразивного изнашивания 179
Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И., Спицын И.А.
Анализ аддитивного оборудования для 3-D печати деталей 194

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ 201

Шаров В.В., Ценч Ю.С.
Воссоздание «Самохода» Ф.А. Блинова 202
Косенко В.В., Шаров В.В., Ценч Ю.С.
Трактор ДТ-75. Знаменитый долгожитель 231

CONTENTS

MAINTENANCE. REPAIR 11

Abramov I.L.
Computer simulation to estimate the quality of design and production
of agricultural machinery parts 12
Danilov K.I., Marusin, A.V., Danilov S.I., Marusin A.V.
Diagnosis of accumulator fuel system of agricultural diesel engines. 19
Ivanov V.P., Viperina T.V.
Rational use of special equipment in repair production 26
Ignatov V.I., Gerasimov V.S.
Modern trends in recycling equipment. 34
Kochurov A.A., Zub. D.V., Aksenov A.Z.
Automated workplace of the regulator of the fuel equipment
on the basis of a one-channel method of measurement of parameters. 40
Lebedev A.T., Arzhenovsky A.G.
Improving the efficiency of the use of machine-tractor units 46
Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu.
Application of digital intelligent control of the oil reservoir
to protect tanks from accidents 53
Mishina Z.N.
The need for standards for planning the cost of maintenance and repair
of agricultural machinery. 61
Kostomakhin M.N., Voronov A.N.
Determination of the generalized coefficient at assessment of indicators
of reliability of self-propelled farm vehicles. 68
Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G.
Optimization of design parameters of tractor pneumatic tires 75
Petrishchev N.Ah., Sayapin A.S., Pospelov A.R.
The use of digital technologies for quality control and operating conditions
of the existing fleet of MES. 83
Sviridov A.S., Tuzhilin S.P., Lopatina J.A.
The use of digital 3d-farm for use in the repair of agricultural machinery. 93
Mikhlin V.M.
On the 90th anniversary of the birth of. 100

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS 103

Akulovich L.M., Sergeev L.E., Dubnovitsky S.K., Shabunya V.V.
Corrosion resistance of alloy steel parts after magnetic abrasive treatment 104
Burak P.I., Latypov R.A, Serov A.V., Serov N.V.
The use of digital echnologies in the study and modeling
of processes occurring during electric welding 113
Gabitov I.I., Negovora A.V., Razyapov M.M., Gusev D.A.
Optimization of the process of thermal preparation of agricultural machinery
at low temperatures 122
Saifullin R.N., Gaskarov, I.R., Yamaletdinov R.K.
Machine Parts, restored electrocontact welding filler materials
for modular installation 131
Saifullin R.N., Priga V.G.
Modern installations for electrospark extension and hardening of products 139
Reschikov E.O., Zadorozhny R.N., Ivanov V.I.
Study of tribotechnical properties of titanium alloys with
coatings obtained by electrospark alloying. 146
Zelen'kiv S.M., Lavrov Yu.G.
The hypothesis of formation of the friction surface with the use of
tribotechnical composition "SUPROTEC» 155
Yudin V.M., Kulakov K.V.
Restoration of internal surfaces of holes of parts by iron 163
Topolyansky P.A, Ermakov S.A, Topolyansky A.P.
Silicon coating SilcoPateks to prevent soot and deposits on parts
of machinery and equipment. 170
Sidorov S.A., Zvolinsky V.N.
Improving the strength characteristics of the working bodies of tillage
machines by protecting certain areas from intense abrasive wear 179
Golubev I.G., Bulls V.V., Golubev M.I., Spitsyn I.A.
Analysis of additive equipment for 3D-printing of parts. 194

THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 201

Sharov V.V., Tsench Yu.S.
Recreating the "Creep" Blinov, F.A. 202
Kosenko V.V., Sharov V.V., Tsench Yu.S.
DT-75 tractor. Famous pendant. 231

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 – **реферат** (Интервал – 1,5. Жирным выделяется только слово **РЕФЕРАТ**)

5. Далее – **Ключевые слова**. (Интервал – 1,5) Жирным выделяется только словосочетание «ключевые слова».

6. Структура статьи:

- цель исследования;
- материалы и методы;
- результаты и обсуждение;
- выводы.

7. **Библиографический список**. (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); реферат; ключевые слова, библиографический список.

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 рассматриваются 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, НЕ ОФОРМЛЕННЫЕ 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, Москва, 1-й Институтский проезд, дом 1, с отметкой "Технический сервис машин", Лялякин Валентин Павлович.

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 – Abstract (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. References (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); abstract; keywords, References.

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: valpal-1938@mail.ru

109428, Moscow, 1-st Institutsky Proezd, Building 1, FGBNU FNAC VIM

with the note "Machinery technical service", addressed to Lyalyakin Valentin Pavlovich.

Telephones for information: 8 (495) 371-21-44.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

УДК 631.3.02

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Игорь Львович Абрамов, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт
механизации льноводства, e-mail: i.abramov@vniiml.ru,
г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время сельское хозяйство вообще и льноводство в частности обозначены правительством как приоритетные отрасли для инвестиций. В рамках реализации этой концепции во всероссийском научно-исследовательском институте механизации льноводства (г. Тверь) разработали и запатентовали вспушиватель лент льнотресты ВЛЛ-3, а также игольчатую борону, предназначенную для предпосевной подготовки почвы под мелкосемянные культуры, в частности, лен. В процессе опытной эксплуатации выявили ряд недостатков этих механизмов, а именно недостаточный ресурс рабочих органов – проволочных зубьев вспушивателя и игл бороны. (Цель исследования) Определить причины поломок проволочных зубьев вспушивателя ВЛЛ-3 и игл бороны, что позволило бы выработать рекомендации по устранению выявленных проблем. (Материалы и методы) Применили технологии компьютерного моделирования в рамках работ по доводке этих агрегатов для изучения поведения зубьев вспушивателя в условиях механического контакта с поверхностью почвы. Уточнили формулы для определения сил, действующих на иглы бороны, при помощи расчетов, использовавших компьютерную модель микрорельефа почвы. (Результаты и обсуждение) Обнаружили, что сила сопротивления, действующая на иглы, зависит от параметров микрорельефа обрабатываемой поверхности. Создали модель поверхности, основанную на случайном характере происхождения микронеровностей. Выявили перспективность использования цифровых технологий компьютерного моделирования в процессе проектирования и доводки сельскохозяйственных машин и их рабочих органов. (Выводы) Определили, что компьютерное моделирование позволило оперативно найти слабые места в конструкции механизма и теории расчета без использования многочисленных натурных экспериментов, что помогло снизить затраты времени и материалов и удешевить сам процесс проектирования. Выявили , что использование предложенной модели случайного формирования микрорельефа обрабатываемой поверхности позволяет получить более точные расчеты механических напряжений в рабочих органах сельскохозяйственных машин, контактирующих с почвой.*

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, метод конечных элементов, усталость металла, предел прочности, MatLab, микрорельеф поверхности*

Для цитирования: *Абрамов И.Л. Применение компьютерного моделирования для оценки качества проектирования и производства деталей сельскохозяйственных машин //Технический сервис машин. 2019. N1. С. 12-18.*

COMPUTER SIMULATION TO ESTIMATE THE QUALITY OF DESIGN AND PRODUCTION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

Igor L. Abramov, Ph.D.(Eng.), leading researcher
All-Russian Scientific Research Institute of Flax Cultivation Mechanization,
e-mail: i.abramov@vniiml.ru, Tver', Russian Federation

Abstract. *Relevance. Nowadays agriculture in general and flax growing in particular are designated as priority sectors for investment. As part of the implementation of this concept, the need for the development and production of innovative technology that ensures high-quality cultivation and the most complete processing of agricultural products increases dramatically. All-Russian research Institute of mechanization flax cultivation developed and patented flax tape fluffer VLL-3, and needle harrows as well. Needle harrow is designed for pre-sowing preparation of soil for varieties of small seed cultures, in particular flax. In the process of trial operation, a number of shortcomings of these mechanisms were identified, namely, the insufficient resource of the working tools – wire teeth of the fluffer and harrow needles. The research purpose was to determinate the wire teeth breakage causes, which would allow to develop recommendations for the solving of the identified reliability problems. Research method. As a part of the work on the final design of these units has been applied the technology of computer simulation to study the behavior of the teeth of fluffer in real conditions. The calculation formulas for determining the forces acting on the harrow processing needles using calculations using a computer model of the soil microrelief were refined as well. Research results. It was found that the acting resistance force depends on the microrelief parameters of the treated surface. The use of digital technologies and computer simulation in the design process and fine-tuning agricultural machines and their working tools, revealed the convenience of this approach, and allowed us to find weaknesses in the design of the mechanism and the theory of computation without the use of numerous field experiments. That allowed to reduce costs of time and materials, and, consequently, reduce the cost of the design process. Conclusions. The computer simulation allowed to find the mechanism design weaknesses quickly so in the theory of calculation as well without the use of numerous field experiments. This method allowed to reduce time and materials expenses, so the cost of the design process itself as well. In addition, the use of the proposed model of random formation of the microrelief of the treated surface makes it possible to obtain more accurate calculations of mechanical stresses in the working instruments of agricultural machines in contact with the soil.*

Keywords: *SolidWorks, computer simulation, finite element method, metal fatigue, strength limit, MatLab, surface microrelief.*

For citation: *Abramov. I.L. Computer simulation to estimate the quality of design and production of agricultural machinery parts. Technical service of machines. 2019. N1. P. 12-18. (In Russian).*

Введение. В последние годы наблюдается неуклонный рост сложности машин и механизмов, применяемых во всех областях деятельности человека. Этот процесс происходит и в сельскохозяйственной механизации.

Применение новых методов возделывания сельскохозяйственных куль-

тур требует все более и более усложняющихся машин, что, в свою очередь, неизбежно ведет к возрастанию сложности проектирования и производства. Современные сельскохозяйственные машины представляют собой компьютеризированные устройства, однако следует отметить, что наряду с электронной составляющей, по-прежнему остается актуальной и проблема надежности механической части. В связи с возросшей сложностью механизмов и увеличением числа содержащихся в них деталей, вероятность ошибок при проектировании также возрастает.

Снизить количество таких ошибок позволяет применение автоматизированных программных комплексов.

Цель исследования – определить причины поломок проволочных зубьев вспушивателя ВЛЛ-3 и игл бороны, что позволило бы выработать рекомендации по устранению выявленных проблем.

Материалы и методы. В настоящее время существует и активно развивается достаточно большое количество CAD/CAM систем. Их использование позволяет наладить сквозной процесс перехода от проектирования к производству за счет интеграции стандартных технологических операций и инструментов в среду виртуального проектирования. Отметим, что зачастую из данного процесса выпадает такой важный этап, как моделирование поведения спроектированной детали или всего механизма целиком. Производители программного обеспечения этот факт вполне осознают, поэтому все наиболее популярные CAD/CAM комплексы в настоящее время получили либо дополнительный модуль CAE (SolidWorks, Компас-3D), либо этот модуль оформлен в качестве отдельной программы (AutoCad Inventor). Тем не менее, при использовании в реальном проектировании и производстве CAD/CAM программных комплексов, про необходимость моделирования поведения проектируемых машин и их отдельных деталей по-прежнему часто забывают. Кроме того, для решения ряда задач моделирования весьма полезными могут оказаться математические пакеты, например, MatLab.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим в качестве примера компьютерное моделирование поведения проволочного зуба вспушивателя лент льнотресты ВЛЛ-3, разработанного в ФГБНУ ВНИИМЛ [1]. При опытной эксплуатации вспушивателя было обнаружено, что его проволочные зубья не обеспечивают необходимого уровня надежности. Для выявления причин поломок было проведено моделирование поведения зуба при помощи программного комплекса SolidWorks 2013 Premium (версия для x64 операционных систем), модуль Simulation [2]. Была создана твердотельная модель, которая затем испытывалась на статическую нагрузку и на усталость металла. Расчет велся методом конечных элементов. Достаточным критерием надежности при исследованиях на устойчивость к усталости металла считалось 1 000 000 циклов. Приложенные тангенциальная и нормальная компоненты принимались равными 100 Н, материал зуба – стальная проволока из стали 60С2А в состоянии поставки согласно ГОСТ 9389-75. Крепление зуба считалось зафиксированным, что вполне соответствует его реальным условиям работы. Схемы крепления, нагружения, а также наложенная конечноэлементная сетка представлены на рисунок 1. Из рисунка 2 видно, что наиболее нагруженными являются области, непосредственно граничащие с креплениями зуба. Тем не менее, выбранный при проектировании материал для изготовления зуба, а именно сталь 60С2А, по пределу текучести вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям, имея более, чем троекратный запас.

Рис. 1. Твердотельная модель зуба вспушивателя с наложенной сеткой конечных элементов и указанием направлений приложения действующих сил и выбранных креплений

Результаты расчета на статическое нагружение представлены на рисунке 2.

Рис. 2. Распределение напряжений по Мизесу в условиях статического нагружения

На рисунке 3 представлены результаты расчетов срока службы детали.

Рис. 3. Срок службы проволочного зуба, циклов нагружения

Как видно из рисунка 3, минимальный срок службы в наиболее напряженных местах детали составляет не более 400 000 циклов, что не соответ-

ствует принятому критерию надежности. Одним из стандартно применяемых в производстве методов увеличения сопротивления усталости является термообработка детали, в частности, закалка с последующим отпуском, которая позволяет увеличить предел текучести материала, а кроме того, увеличивает ударную вязкость, что должно положительно сказаться на стойкости к ударным нагрузкам и усталости. Применение цифровых технологий для виртуального моделирования позволяет оценить влияние такой обработки гораздо быстрее и легче традиционных методов, что дает возможность снизить затраты материальных ресурсов и времени. Так, при сохранении всех условий нагружения из предыдущего моделирования, был произведен расчет параметров выносливости детали с использованием значений, которые приобретает материал после термообработки. Результат расчета срока службы детали представлен на рисунке 4.

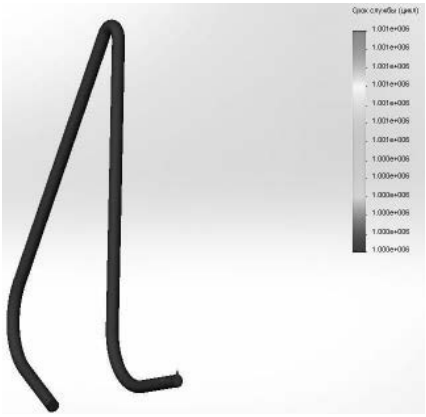


Рис. 4. Срок службы термообработанного проволочного зуба, циклов нагружения

Как видно из рисунка, срок службы зуба увеличился на порядок (с 10^5 циклов до 10^6 циклов) в наиболее нагруженной части. Для расчета использовались параметры, приобретаемые сталью 60С2А при изотермической закалке с выдержкой при 290 ^{0}С и последующим отпуском при 150 0С в течение 1 часа [3, 4]. Таким образом, применение компьютерного моделирования позволило значительно сократить затраты на поиск и устранение ошибок в технологическом процессе производства проволочного зуба вспушивателя лент льнотресты ВЛЛ-3. Испытания модифицированных зубьев планируются на сезон 2019 года. Наряду с применением специализированных программных продуктов, непосредственно предназначенных для изучения поведения деталей машин в условиях эксплуатации, при решении ряда задач моделирования весьма полезным зачастую оказывается применение расчетных математических пакетов. Так, в частности, при теоретическом исследовании сил, действующих на зуб игольчатой бороны, обнаружено, что ранее при расчетах не был принят во внимание тот факт, что реальная поверхность не является идеально ровной, а кроме того, в объеме почвы могут встречаться твердые включения, например, камни или гравий [5, 6]. Для учета влияния этого фактора построена математическая модель, основанная на случайном характере формирования микрорельефа поверхности, обрабатываемой игольчатой бороной. Для расчетов была реализована программа моделирования случайного микрорельефа почвы в математическом программном пакете MatLab 2014. За основу взяли «холмовой» алгоритм

построения поверхности [7, 8]. Исследование показало, что наиболее значимыми для расчета нагрузки на иглу бороны являются такие параметры, как математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение для значений высоты профиля сечения поверхности. При помощи пакета MatLab построение визуализации и расчет статистических параметров был значительно облегчен и ускорен. В результате применения указанной методики расчета были получены зависимости силы, действующей на иглу бороны от высоты профиля поверхности [9]. На рисунке 5 представлен пример полученного случайного профиля поверхности обрабатываемой почвы. Кроме того, модель случайного формирования поверхности движения может быть применена и для расчета нагрузок (в том числе ударных), действующих на инструмент, изначально непредназначенный для обработки почвы, но в силу специфики своего использования, имеющий периодический контакт с неровностями почвы. К таким случаям можно отнести уборочную технику, работающую на каменистых и (или) полях, имеющих значительные значения максимальных отклонений от опорной поверхности рельефа, в силу чего рабочие органы таких машин периодически контактируют с почвой (жатки, вспушиватели и т.п.).

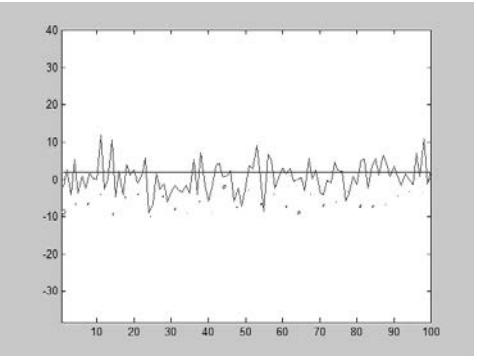


Рис.5. Пример визуализации случайного рельефа обрабатываемой поверхности почвы, высота и длина неровностей приведены в условных единицах

Выводы. Таким образом, приведенные примеры решенных реальных задач позволяют сделать однозначный вывод о несомненных преимуществах использования компьютерного моделирования. Тем не менее, не следует полностью полагаться на него полагаться в силу того, что математическая модель не может учитывать абсолютно все факторы, действующие в реальных условиях. Однако использование цифровых технологий позволяет значительно снизить затраты на выявление недостатков как проектирования, так и технологии производства сельскохозяйственных машин. Кроме того, применение цифровых технологий в фундаментальных исследованиях позволяет использовать методы, применение которых ранее было сильно затруднено из-за слишком большого объема математических вычислений.

Библиографический список

1. Пат. 2547391 Российская Федерация, МПК A01D 45/06 (2006/01). Вспушиватель лент льна / Перов Г.А., Ковалев М.М., Зубанов В.В.; заявитель и патентообладатель Всероссийский. науч.-исслед. ин-т механизации льноводства № 2013151517/13; опубл. 10.04.15.

2. Абрамов И.Л. Исследование причин разрушения проволочного // Известия Великолукской ГСХА. 2018. N3. С. 51-55.

3. Мыльников В.В., Чернышов Е.А., Шетулов Д.И. Влияние термической обработки и схемы нагружения на показатели сопротивления усталости стали 60С2А // Международный журнал экспериментального образования. 2013. N10 (Ч. 2). С. 382-384.

4. Конструкционные материалы: Справочник/ М.: Машиностроение. 1990. 688 с.

5. Хайлис Г.А., Ковалев М.М., Толстушко Н.Н., Шевчук В.В. Анализ работы игольчатой бороны при качении по почве // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2014. N5. С. 25-28.

6. Ковалев М.М., Прокофьев С.В., Кондрашов В.А., Фадеев Д.Г. Теоретические основы воздействия игл игольчатой бороны на почву // Техника и оборудование для села. 2017. N1. С. 12-15.

7. Мортин К.В. Методы и алгоритмы генерации синтезированных ландшафтов. С-Пб.: Lambert academic publishing. 2012. 112 с.

8. Колесников С.В. О решении задачи генерации ландшафта // Материалы XVII Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (12-14 ноября 2013 г., Красноярск). 2013. С. 214-215.

9. Абрамов И.Л., Сизов И.В. К вопросу о теоретических основах воздействия игл игольчатой бороны на почву // Агроэкоинфо. 2018. N3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_361.doc

10. Абрамов И.Л. К вопросу о моделировании поверхности движения игольчатой бороны // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. N3. С. 69-72.

References

1. Pat. 2547391 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01D 45/06 (2006/01). Vspushivatel lent lna/ Perov G.A., Kovalev M.M., Zubanov V.V.; zayavitel i patentoobladatel FGBNU Vserossiyskiy. nauch.-issled. in-t mehanizatsii lnovodstva. № 2013151517/13; opubl. 10.04.15.

2. Abramov I.L. Issledovanie prichin razrusheniya provolochnogo zuba. Izvestiya Velikolukskoy GSHA. 2018. N3. 51-55.

3. Myilnikov V.V., Chernyshov E. A., Shetulov D.I. Vliyanie termicheskoy obrabotki i shemyi nagruzheniya na pokazateli soprotivleniya ustalosti stali 60S2A. Mezhdunarodnyiy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya. 2013. N10 (P. 2). 382-384.

4. Konstruktsionnyie materialyi: Spravochnik / pod red. d.t.n. B.N. Arzamasova. Moscow: Mashinostroenie. 1990. 688 .

5. Haylis G.A., Kovalev M.M., Tolstushko N.N., Shevchuk V.V. Analiz rabotyi igolchatoy boronyi pri kachenii po pochve. Traktoryi i selskohozyaystvennyie mashinyi. 2014. N5. 25-28.

6. Kovalev M.M., Prokofev S.V., Kondrashov V.A., Fadeev D.G. Teoreticheskie osnovyi vozdeystviya igl igolchatoy boronyi na pochvu. Tehnika i oborudovanie dlya sela. 2017. N1. 12-15.

7. Mortin K.V. Metodyi i algoritmyi generatsii sintezirovannyih landshaftov. Saint-Petersburg: Lambert academic publishing. 2012. 112.

8. Kolesnikov S.V. O reshenii zadachi generatsii landshafta. ikov // Materialyi XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyaschennoy pamyati generalnogo konstruktora raketno-kosmicheskih sistem akademika M.F. Reshetneva (12–14 noyabrya 2013 g., Krasnoyarsk). 2013. 214-215.

9. Abramov I.L., Sizov I.V. K voprosu o teoreticheskih osnovah vozdeystviya igl igolchatoy boronyi na pochvu. Agroekoinfo. 2018. N3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_361.doc

10. Abramov I.L. K voprosu o modelirovanii poverhnosti dvizheniya igolchatoy boronyi. Vestnik APK Verhnevolzhya. 2018. N3. 69-72.

УДК 629.113.004

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Игорь Кеворкович Данилов[1], доктор технических наук, профессор, danilov_ik@rudn.university;
Александр Вячеславович Марусин[1], кандидат технических наук, доцент;
Сергей Игоревич Данилов[1], студент;
Алексей Вячеславович Марусин[2], кандидат технических наук
[1]Инженерная академия Российского университета дружбы народов, Москва, Российская Федерация;
[2]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. *Введение. В настоящее время существенная часть сельскохозяйственной техники оснащена дизельными двигателями внутреннего сгорания. Большая часть дизелей оборудована аккумуляторной топливной аппаратурой типа Common Rail. (Цель исследования) Данная система характерна разделением функций создания высокого давления и обеспечения требуемой характеристики топливоподачи между элементами, что позволяет обеспечивать различные ее характеристики при высоком давлении впрыска топлива. Однако система CR предъявляет повышенные требования к качеству топлива, обладает высокой стоимостью и низкой ремонтопригодностью. Наиболее нагруженным и дорогим узлом (до 37%) в аккумуляторных системах топливоподачи является ТНВД. (Материалы и методы) В РФ методы диагностирования систем топливоподачи CR отработаны не в полной мере. Применение методик диагностирования топливной аппаратуры с многоплунжерными распределительными ТНВД невозможно, а встроенная система технической диагностики не позволяет детально оценивать техническое состояние ее элементов. (Результаты и обсуждение) Наиболее эффективный способ контроля технического состояния системы CR предполагает стендовые испытания ТНВД и форсунок при их снятии с дизеля, но это увеличивает трудоемкость ТО, ТР и эксплуатационные затраты. Диагностирование ТНВД аккумуляторной топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственной техники непосредственно на дизеле по показаниям тензометрического датчика давления топлива позволит сократить затраты на облуживание и ремонт, а также сократит время простоя сельскохозяйственной техники. (Выводы) Метод диагностирования основан на принципе регистрации и оценки пульсации давления в гидроаккумуляторе топливной системы, при этом информативным показателем технического состояния ТНВД данной системы может являться амплитуда, период и форма колебаний давления топлива.*

Ключевые слова: *датчик давления топлива, дизель, аккумуляторная топливная аппаратура, common rail, гидроаккумулятор.*

Для цитирования: *Данилов И.К., Марусин А.В., Данилов С.И., Марусин А.В. Диагностирование аккумуляторной топливной системы дизелей сельскохозяйственного назначения //Технический сервис машин. 2019. N1. С. 19-25.*

DIAGNOSING THE ACCUMULATED FUEL SYSTEM OF AGRICULTURAL DIESEL ENGINEERING SYSTEMS

Igor K. Danilov[1], Dr.Sc.(Eng.) professor;
Aleksander V. Marusin[1], Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Sergey I. Danilov[1], student;
Aleksey V. Marusin[2], Ph.D.(Eng.), senior lecturer of department
[1]Engineering Academy of Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation;
[2]St. Petersburg state University of architecture and civil engineering, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. *Currently, a significant part of agricultural machinery is equipped with diesel internal combustion engines. A significant part of diesel engines is equipped with common rail type battery equipment. (Purpose of research) This system is characterized by the separation of the functions of creating a high pressure and providing the required fuel supply characteristics between the elements, which allows it to provide various characteristics at high pressure fuel injection. However, the CR system places high demands on fuel quality, has a high cost and low maintainability. The most loaded and expensive unit (up to 37%) in battery fuel supply systems is a high pressure pump. (Materials and methods) In the Russian Federation, methods for diagnosing CR fuel supply systems are not fully developed. The use of methods for diagnosing fuel equipment with multi-plunger distribution injection pump is impossible, and the built-in technical diagnostics system does not allow a detailed assessment of the technical condition of its elements. (Results and discussion) The most effective way to control the technical condition of the CR system involves bench tests of fuel pump and injectors when they are removed from a diesel engine, but this increases the labor intensity of maintenance, maintenance and operational costs. Diagnosing the fuel injection pump of the accumulator fuel equipment of diesel engines of agricultural machinery directly on the diesel engine according to the readings of the strain gauge fuel pressure sensor will reduce the cost of maintenance and repair, as well as reduce downtime of agricultural machinery. (Summary) The method of diagnosis is based on the principle of recording and estimating the pressure pulsations in the hydraulic accumulator of the fuel system, while the informative indicator of the technical condition of the injection pump of this system can be the amplitude, period, and form of fuel pressure fluctuations.*

Keywords: *fuel pressure sensor, diesel, battery fuel equipment, common rail,.*

For citation: *Danilov, K.I., Marusin, A. V., Danilov S.I., Marusin, A.V. Diagnosis of accumulator fuel system of agricultural diesel engines. Technical service machines. 2019. N1. P. 19-25(In Russian).*

Введение. Анализ парка дизелей сельскохозяйственного назначения РФ показал, что в настоящее время основная доля сельскохозяйственной тех-

ники оснащается дизельными двигателями с аккумуляторной топливной аппаратурой. Несмотря на это, исследования российских ученых достаточно подробно описывают традиционные системы топливоподачи (ТП) автотракторных дизелей и направления их совершенствования [1-11].

Цель исследования – ужесточение экологических норм вынуждает производителей автотракторной техники переходить на новую, более современную аккумуляторную топливную систему дизелей. В последние годы она получила широкое распространение и известна как аккумуляторная система впрыска топлива Common Rail (CR). С 2004 по 2014 год увеличение составило 21%, то есть половину от всего выпуска дизелей применяемых в сельскохозяйственной технике (рис. 1). Эта система характерна распределением функций создания высокого давления и обеспечения требуемой характеристики ТП между элементами, что позволяет обеспечивать различные ее характеристики при высоком давлении впрыска топлива (до 250 МПа) [12-13].

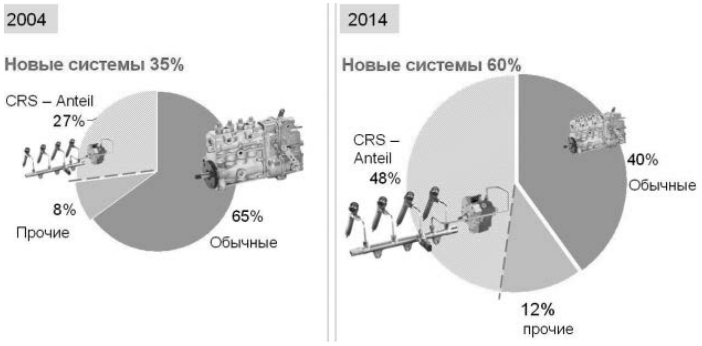


Рис. 1. Динамика применения различных систем топливоподачи автомобильных дизелей 2004-2014 гг.

Материалы и методы. Система впрыска топлива CR (рис. 2) обладает такими преимуществами, как вариативный программируемый впрыск (в настоящий момент система обеспечивает до 9 впрысков топлива за цикл в зависимости от типа применяемых форсунок), номинально высокое давление подачи топлива в камеру сгорания на всех режимах работы дизеля, низкий расход топлива (снижение до 40%) и шумность работы (снижение до 10%) при высокой экологичности.

Одновременно система CR имеет ряд недостатков, к которым относятся: быстрое выгорание моторного масла, высокие требования к материалам из-за нагрева деталей двигателя при работе (верхняя часть поршня нагревается выше 400 0С), малая ремонтопригодность, чувствительность к качеству топлива. Результатом работы системы на некачественном топливе становится замена узла целиком, так как даже ремонт на специализированном оборудовании и оригинальными комплектующими не может обеспечить надежность. Надежность таких топливных систем и эффективность функционирования дизелей сельскохозяйственной техники определяется качеством и своевременностью проведения технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР), неотъемлемой частью которых является диагностирование. Необходимо отметить, что методы исследования в нашей стране для систем топливоподачи CR, технологии диагностирования отработаны не в полной мере. Так как современные системы ТП значительно отличаются от традиционных по характеру протекания процессов и устройству, использование технологий диагностирования ТА с многоплунжерными распредели-

тельными топливными насосами высокого давления (ТНВД) невозможно, а встроенная система технической диагностики (СТД) современных автотракторных дизелей не позволяет детально оценивать техническое состояние элементов топливоподающей аппаратуры.

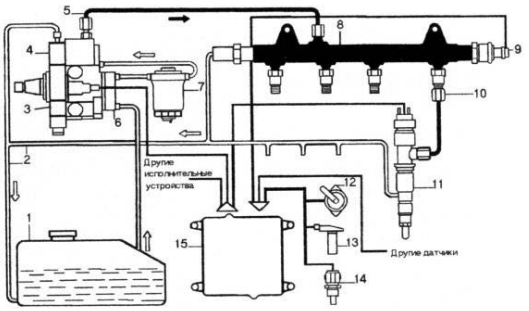


Рис. 2. Схема системы топливоподачи «Common Rail»:
1 – топливный бак; 2 – сливные топливопроводы; 3 – ТНВД; 4 – регулятор давления; 5 – топливопровод высокого давления; 6 – топливоподкачивающий насос; 7 – фильтрующий элемент; 8 – гидроаккумулятор (топливная рампа); 9 – датчик давления топлива; 10 – предохранительный клапан;
11 – электрогидравлическая форсунка; 12 – датчик педали акселератора;
13 – датчик частоты вращения и положения коленчатого вала; 14 – температурный датчик; 15 – ЭБУ (блок управления)

Например, разработанный нами способ диагностирования ТА автотракторного дизеля с традиционной системой ТП по перемещению иглы диагностической форсунки невозможно применить к системе CR по причине разделения в управлении нагнетающего и впрыскивающего узлов, а применение газоаналитического метода будет менее информативным, чем показания диагностического сканера [7, 10, 12, 14, 15]. Диагностирование систем CR также предполагает стендовые испытания форсунок и ТНВД, но это увеличивает трудоемкость ТО, ТР и эксплуатационные затраты. Таким образом, разработка новых методов исследования и мобильных средств диагностирования систем CR является важной научно-практической задачей.

При выборе метода исследования учитывали, что при анализе эксплуатационных характеристик элементов систем CR наиболее нагруженным и дорогим является ТНВД. Стоимость компонентов данной системы ТП для среднегабаритного дизеля составляет 21% на блок управления, 30 – на форсунки, 37% – на ТНВД, остальное – на датчики, аккумулятор и арматуру.

Наиболее эффективна методика исследования с диагностированием ТНВД непосредственно на двигателе, основанная на принципе регистрации и оценки пульсации давления в гидроаккумуляторе тензометрическим датчиком высокого давления, устанавливаемого на место штатного датчика. Его задачей является регистрация абсолютных значений давления топлива и колебания в гидроаккумуляторе по времени на установившихся режимах работы дизеля.

Результаты и обсуждение. В рамках проведения исследований создана база данных эталонных абсолютных значений давления топлива, а также осциллограммы его колебаний в гидроаккумуляторе систем CR на установившихся режимах работы дизелей сельскохозяйственной техники, которые мо-

гут быть использованы для создания технической документации и размещения в ремонтных предприятиях аграрно-промышленного комплекса РФ, что позволит снизить трудоемкость и себестоимость проведения ТО и ТР сельскохозяйственной техники. Информативным показателем технического состояния ТНВД данной системы могут являться амплитуда, период и форма колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе, ведь в зависимости от режима работы дизеля поддерживается определенное среднее давление при помощи регулятора давления топлива.

Выводы. Колебания давления топлива в гидроаккумуляторе системы CR возникают ввиду динамических процессов, обусловленных работой элементов (электрогидравлическая форсунка, ТНВД, регулятор давления топлива), неисправностей и износа (при их наличии) элементов [7, 8, 11-13]. Углубленная разработка метода диагностирования ТП систем типа CR, основанная на принципе регистрации и оценки пульсации давления в гидроаккумуляторе, позволит сократить эксплуатационные затраты сельскохозяйственных предприятий, что позволит повысить конкурентоспособность экономики РФ.

Библиографический список

1. Бышов Н.В. Анализ методов диагностирования топливной аппаратуры автотракторных дизелей и разработка математической модели топливного насоса высокого давления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. N123. С. 169-192.

2. Бышов Н.В., Кокорев Г.Д., Рембалович Г.Д., Успенский И.А. Пути совершенствования технического диагностирования автотранспортных средств при их эксплуатации // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. 2010. С. 332-334.

3. Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Рембалович Г.К., Лунин Е.В., Юхин И.А., Бышов Д.Н., Голиков А.А., Колупаев С.В. Основы проектирования вспомогательных технологических процессов технического обслуживания и ремонта автотранспорта, сельскохозяйственных, дорожных и специальных машин: Учебное пособие. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. 2014. 207 с.

4. Соловьев С.А., Лялякин В.П., Горячев С.А., Мишина З.Н., Герасимов В.С., Соловьев Р.Ю., Черноиванов В.И., Голубев И.Г. Инновационные направления развития ремонтно-эксплуатационной базы для сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2014. 156 с.

5. Голубев И.Г., Руденко Н.И. Испытание форсунок топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сборник. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2010. С. 221-224.

6. Голубев И.Г., Конкин М.Ю., Кузьмин В.Н. Технический сервис – опыт и перспективы развития. М.: Росинформагротех. 2011. 337 с.

7. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. М.: Легион-Автодата. 2004. 344 с.

8. Марусин А.В., Сычев А.М., Данилов И.К. Моделирование процессов встроенной системы технической диагностики транспортного средства // Вестник Саратовского государственного технического университета 2013. Вып. 2. N2 (71). С. 57-60.

9. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Жуков

К.А., Гусаров С.Н. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники совершенствованием системы диагностирования. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. 2013. 187 с.

10. Кокорев Г.Д., Успенский И.А. Способы прогнозирования технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники // Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК: сборник научных работ студентов. Рязань: РГАТУ им. П.А. Костычева. 2012. С. 64-67.

11. AVL: control moteur Diesel // L Argus de J Futomobile et des Locomotion. 1989. N3128. 21-23.

12. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. М.: Легион-Автодата. 2008. 48 с.

13. Рокош У. Бортовая диагностика. М.: За рулем. 2013. 224 с.

14. Марусин А.В., Данилов И.К., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Шемякин А.В., Терентьев В.В. Анализ и обоснование разработки диагностического устройства топливной аппаратуры автотракторных дизелей // Вестник РГАТУ имени П.А. Костычева. 2017. N3 (35). 102-106.

15. Окинь Г.Д. Исследования комплексной диагностики двигателей тракторов «Кировец»: дис. … канд. техн. наук: защищена 14.02.1997; утв. 25.09.1997. Л.: Пушкин. 1997. 183 с.

References

1. Byshov N.V. Analysis of methods for diagnosing fuel equipment of automotive tractor diesel engines and development of a mathematical model for a high-pressure fuel pump. Polytechnical network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016. N123. 169-192.

2. Byshov N.V., Kokorev G.D., Rembalovich G.D., Uspensky I.A. Ways to improve the technical diagnosis of vehicles during their operation. Fundamental and Applied Problems of Improving Piston Engines: In the collection materials of the XII International Scientific and Practical Conference. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University P.A. Kostycheva. 2010. 332-334.

3. Uspensky I.A., Kokorev GD, Rembalovich GK, Lunin E.V., Yukhin I.A., Byshov D.N., Golikov A.A., Kolupaev S.V. Fundamentals of the design of auxiliary technological processes for maintenance and repair of vehicles, agricultural, road and special machines: Textbook. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University P.A. Kostycheva. 2014. 207.

4. Golubev I.G., Soloviev S.A., Lyalakin V.P., Goryachev S.A., Mishina Z.N., Gerasimov V.S., Soloviev R.Yu., Chernoyivanov V.I. Innovative directions of development of repair and maintenance base for agricultural machinery. Moscow: Rosinformagrotech. 2014. 156.

5. Golubev I.G., Rudenko N.I. Test injectors fuel equipment diesels on mixed fuel. Scientific and technological progress in agricultural production: collection. Minsk: Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agriculture Mechanization. 2010. 221-224.

6. Golubev I.G., Konkin M.Yu., Kuzmin V.N. Technical service – experience and development prospects. Moscow: Rosinformagrotech. 2011. 337.

7. Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. Fuel equipment and control systems of diesel engines: Textbook for high schools. M.: Legion-Autodata. 2004. 344.

8. Marusin A.V., Sychev A.M., Danilov I.K. Modeling of processes of the built-in system of technical diagnostics of a vehicle. Bulletin of the SSTU. 2013. Iss. 2. N2 (71). 57-60.

9. Byshov N.V., Borychev S.N., Uspensky I.A., Kokorev G.D., Yukhin I.A., Zhukov

K.A., Gusarov S.N. Increased readiness to use the intended use of mobile agricultural machinery by improving the diagnosis system: monograph. Ryazan: Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education of the Russian Federation. 2013. 187.

10. Kokorev G.D., Uspensky I.A. Methods for predicting the technical condition of mobile agricultural machinery. Innovative directions and methods of implementing scientific research in the agro-industrial complex: a collection of scientific works of students. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University P.A. Kostycheva. 2012. 64-67.

11. AVL: control moteur Diesel // L Argus de J Futomobile et des Locomotion. 1989. N3128. 21-23.

12. Gabitov I.I., Grekhov L.V., Nevozhov A.V. Maintenance and diagnostics of fuel equipment of automotive diesel engines. Moscow.: Legion-Avtodata. 2008. 248.

13. Rokos U. On-board diagnostics. Moscow: Behind the wheel. 2013. 224.

14. Marusin A.V., Danilov I.K., Uspensky I.A., Kokorev G.D., Shemyakin A.V., Terentiev V.V. Analysis and justification of the development of a diagnostic device for fuel equipment of automotive diesel engines. Bulletin of the RASU named after PA Kostychev. 2017. N3 (35). 102-106.

15. Okin G.D. Investigations of the complex diagnostics of the engines of tractors "Kirovets": dis. ... cand. tech. Sciences; is protected 14.02.1997; approved. 09/25/1997. L .: Pushkin. 1997. 183.

УДК 621.9.06(031)

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Владимир Петрович Иванов, доктор технических наук, профессор;
Татьяна Владимировна Вигерина, кандидат технических наук, доцент, e-mail: ivprem@tut.by
Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь

Реферат. *Использование универсального оборудования при ремонте сельскохозяйственной техники не обеспечивает ее нормативное качество. Конкурентоспособность отремонтированных агрегатов будет обеспечена, когда значения их геометрических параметров и эксплуатационных свойств не будут уступать по точности соответствующим показателям продукции машиностроения. Нормативная точность параметров и свойств достигается применением дорогого специального оборудования, использование которого в ремонтном производстве должно быть установлено технико-экономическим исследованием. (Цель исследования) Обосновать область использования различных типов металлорежущих специальных станков в ремонтном производстве. (Материалы и методы) Сопоставили точность и производительность универсального и специального оборудования (на примере расточных и шлифовальных станков) с учетом затрат на ввод в эксплуатацию и использование этого оборудования при объемах ремонта 6,3; 10; 16 и 25 тысяч автотракторных двигателей в год. (Результаты и обсуждение) При всех объемах ремонта агрегатов применение специальных расточных станков ОС-2777 выглядит предпочтительнее по сравнению по сравнению со станками 2Н78. Специальные станки 13А458 для обработки коренных опор блоков цилиндров эффективнее универсальных горизонтально-расточных станков 2М614, оснащенных специальными приспособлениями. Граница экономически обоснованного применения специального оборудования ХШ2-16 и ХШ2-01 для шлифования шеек коленчатых валов по сравнению с использованием универсальных станков 3В423 соответствует объемам восстановления деталей около 10 тысяч в год. Капиталовложения в специальное оборудование при таких объемах восстановления превышают в 1,16 раза соответствующий показатель универсального оборудования, но заработная плата при обработке одной заготовки на универсальном станке больше в 1,77 раза. (Выводы) Обоснован выбор технологического оборудования, которое в наибольшей степени влияет на себестоимость и качество ремонта агрегатов. Область эффективного применения специальных станков начинается со сравнительно небольших объемов производства 6,3-10 тыс. агрегатов в год.*

Ключевые слова: *технологическое оборудование, специальные станки, точность, производительность, эффективность.*

Для цитирования: *Иванов В.П., Вигерина Т.В. Рациональное использование специального оборудования в ремонтном производстве //Технический сервис машин. 2019. N.1. С.26-33.*

SCOPE OF SPECIAL EQUIPMENT USE REPAIR INDUSTRY

Vladimir P. Ivanov, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Tatiana V. Viperina, Ph.D(Eng.), associate professor,
e-mail: ivprem@tut.by
Polotsk state University, Novopolotsk, Republic of Belarus

Abstract. *The use of universal equipment in the repair of agricultural equipment does not ensure its standard quality. The competitiveness of the repaired units will be ensured in the case when the values of their geometrical parameters and performance properties will not be inferior in accuracy to the corresponding indicators of engineering products. The normative accuracy of parameters and properties is achieved by using expensive special equipment, the use of which in the repair industry must be established by technical and economic research. The purpose of the work was to justify the use of various types of special metal-cutting machines in the repair production. A comparison was made of the accuracy and productivity of universal and special equipment (for example, boring and grinding machines), taking into account the costs of commissioning and the use of this equipment with repair volumes of 6.3, 10, 16 and 25 thousand automotive engines per year. With all the volume of repair of units, the use of special boring machines OC-2777 looks preferable compared to the 2H78 machines. Also, special machines 13A458 for machining core bearings of cylinder blocks are more effective than universal horizontal boring machines 2M614, equipped with special devices. The border of economically justified use of special equipment ХШ2-16 and ХШ2-01 for grinding crankshaft necks compared to using universal machines 3B423 corresponds to the volume of parts recovery of about 10 thousand per year. Investments in special equipment with a recovery volume of 10 thousand parts per year exceed 1,16 times the corresponding figure of universal equipment, but the salary for processing a workpiece on a universal machine is 1,77 times more. The choice of technological equipment, which has the greatest effect on the cost and quality of repair of units, is substantiated. The area of effective use of special machines begins with a relatively small production volume of 6,3-10 thousand units per year.*

Keywords: *technological equipment, special machines, accuracy, productivity, efficiency.*

For citation: *Ivanov V.P., Viperina T.V. Rational use of special equipment in repair production. Technical service machines. 2019. N.1. P. 26-33. (In Russian).*

Введение. Технологическое оборудование, применяемое в ремонтном производстве, по широте выполняемых функций делится на универсальное, специализированное и специальное. Универсальное оборудование обладает широкими технологическими возможностями, но удовлетворительной точностью. Специализированное оборудование характеризуется увеличенными производительностью и точностью обработки однотипных заготовок, но более узкими технологическими возможностями. Специальное оборудование выполняет узкую технологическую функцию над ремонтируемыми (восстанавливаемыми) изделиями определенной модели и типоразмера, обладает наибольшей производительностью и обеспечивает наивысшую точность [1, 2]. Металлорежущие специальные станки изготавливают на станкостроительных заводах по заказу. Универсальное оборудование (чаще металлорежущее) во время заводской модернизации путем однократной установки сложных приспособлений переделывают в специальное. Приме-

няют также специальное оборудование (для разборки, сборки, очистки, нанесения восстановительных покрытий и контроля) в виде стендов или установок, спроектированное и изготовленное на отдельных заводах. Высокую точность специальных металлорежущих станков по размерам и параметрам формы деталей обеспечивают их жесткие тяжелые станины, точные шпиндельные узлы, приводы вращения заготовок с минимальным нагружением последних, механизмы контроля размера обработки, механизмы правки абразивных кругов и др. Повышенная их производительность обусловлена многоинструментальной обработкой, применением современных инструментальных материалов с высокими режимами резания и наличием загрузочных устройств. Однако специальные станки дорогие, поэтому их применение в масштабах завода или отрасли требует технико-экономического обоснования. Одна из первых работ, посвященных рассматриваемой проблеме, –Огородника И.А., в которой рассматривается эффективность использования специальных расточных станков 9А-676 и ОС-8207 [3, 4]. Актуальные проблемы применения технологического оборудования в промышленности приведены в работах [5-9]. Продукция ремонтного производства будет конкурентоспособной в том случае, когда значения ее геометрических параметров и эксплуатационных свойств не будут уступать по точности соответствующим показателям продукции машиностроения, что обусловливает актуальность применения специального оборудования.

Цель исследования – обосновать области использования различных типов металлорежущих специальных станков в ремонтном производстве.

Материалы и методы. Производилось сопоставление точности и производительности универсального и специального оборудования (расточного и шлифовального) с учетом затрат на ввод в эксплуатацию и использование этого оборудования при объемах ремонта 6,3, 10, 16 и 25 тыс. автотракторных двигателей в год. Общие затраты $З_{\Sigma}$ на работу оборудования, приведенные к одному году эксплуатации, включали капиталовложения в здания и оборудование Кг, заработную плату $ЗП_{г}$ рабочих и текущие затраты $З_{т.о.р}$ на содержание оборудования в исправном состоянии проведением технического обслуживания и ремонта:

$$З_{\Sigma} = Кг + ЗП_{г} + З_{т.о.р}, \text{ руб.} \quad (1)$$

Капиталовложения, отнесенные к одному году эксплуатации, определяли по формуле:

$$K_{г} = \frac{F_{р.м} C_{кв.м}}{n_{з}} + \frac{K_{об}}{n_{об}}, \text{ руб.,} \quad (2)$$

где Fр.м – площадь здания, занятая рабочим местом, м^2; $C_{кв.м}$ – стоимость одного квадратного метра здания, руб./м^2; $K_{об}$ – капиталовложения (цена или затраты на изготовление) в оборудование, руб.; $n_{з}$ и $n_{об}$ – срок службы здания (50 лет) и оборудования (10 лет), соответственно.

Ограничение по производительности оборудования выражается условием:

$$\frac{N n_{д} k_{в} t_{ш.-к}}{60} \le n_{о} Ф_{д}, \quad (3)$$

где N – объемы ремонта агрегатов, год$^{-1}$; $n_{д}$ – число восстанавливаемых (ремонтируемых) изделий в агрегате; $k_{в}$ – коэффициент восстановления деталей; $t_{ш.-к}$ – штучно-калькуляционное время, мин; $n_{о}$ – количество единиц оборудования; $Ф_{д.о}$ – годовой действительный фонд времени работы оборудования

(при односменной работе оборудования $\boldsymbol{Ф_{д.о}}$ принимался равным 1600 ч/год).

Заработная плата ***ЗП*** на операцию определялась по формуле:

$$ЗП = c_{ч}\frac{t_{ш.-к}}{60}\left(1+\frac{k_{доп}}{100}\right), \text{ руб.}, \quad (4)$$

где $\boldsymbol{c_ч}$ – часовая тарифная ставка рабочего в соответствии с его квалификацией, руб./ч; $\boldsymbol{k_{доп}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату. Текущие затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования $\boldsymbol{З_{т.о.р}}$, отнесенные к одной операции, равны:

$$\boldsymbol{З_{т.о.р} = tш.\text{-}к(ЗмКм + ЗэКэ)}, \text{ руб.}, \quad (5)$$

где $\boldsymbol{З_м}$ и $\boldsymbol{З_э}$ – часовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт механической и электрической частей оборудования, руб./ч; $\boldsymbol{К_м}$ и $\boldsymbol{К_э}$ – категории ремонтосложности механической и электрической частей оборудования. Годовая заработная плата и годовые текущие затраты на содержание оборудования в исправном состоянии определялись произведением соответствующих показателей, отнесенных к одной операции, на годовой объем выпуска продукции.

Результаты и обсуждения. Показатели использования различного металлорежущего оборудования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели использования металлорежущего оборудования

Станки	Показатели					
	Цена станка тыс. бел. руб.	Время обработки комплекта изделий, мин	Производительность обработки комплектов изделий в смену	Зарплата на обработку комплекта изделий, бел. руб.	Остальные текущие затраты на обработку комплекта изделий, бел. руб.	Общие текущие затраты на обработку комплекта изделий,бел. руб.
2Н78	16,4	47,2	10	3,14	1,05	4,19
ОС-2777	199,4	3	153	0,33	0,27	0,60
2М614	115,5	5,1	86	0,58	0,41	0,99
13А458	134,4	4,8	92	0,54	0,35	0,89
3В423	416,5	15+20 = 35	13	3,85	2,40	6,25
ХШ2-16	612,0	8	55	0,91	0,51	1,42
ХШ2-01	663,0	12	37	1,35	0,72	2,07

Необходимое количество станков для выполнения производственной программы при различных объемах производства с обеспечением условия (3) приведено в таблице 2.

Таблица 2

Необходимое количество станков для выполнения производственной программы при односменной работе

Объемы ремонта, тыс. в год	Станки						
	вертикально-расточные		горизонтально-расточные		кругло-шлифовальные		
	2Н78	ОС-2777	2М614	13А458	3В423	ХШ2-16	ХШ2-01
6,3	4	1	1	1	2	1	1
10	4	1	1	1	4	1	2
16	6	1	1	1	6	2	2
25	10	1	2	2	8	2	3

Область рационального применения станков различных видов при разных объемах производства определяется соотношением капиталовложений,

приведенных к году эксплуатации, и текущими затратами на годовой объем работ. Значительные капиталовложения имеют место один раз в течение срока службы станка, а текущие затраты сопровождают каждую технологическую операцию. Меньшее машинное время обработки заготовок на специальном станке (в ряде случаев в несколько раз, по сравнению с обработкой на универсальном станке) обуславливает большую производительность труда, меньшую заработную плату и меньшие затраты на содержание оборудования в исправном состоянии.

Большой объем растачивания заготовок при ремонте агрегатов определен соответствующим количеством внутренних цилиндрических поверхностей. Доля таких поверхностей большая, например, для двигателей внутреннего сгорания она составляет 0,297 [10]. Точность обработки элементов высокая. В частности, для отверстий коренных опор блока цилиндров суммарный допуск круглости и профиля продольного сечения не должен превышать 0,007 мм, допуск параллельности осей отверстий под коленчатый и распределительный валы 0,15 мм на длине 1200 мм, а допуск соосности отверстий коренных опор под распределительный вал – 0,015 мм. Шероховатость поверхностей коренных опор не должна превышать ***Ra*** 0,63.

Станкозаводы производят станки для одновременного растачивания коренных опор, отверстий во втулках распределительного вала и отверстия под стартер в блоке цилиндров (11А848 и 13А458), для растачивания гильз цилиндров (ОС-2777), для растачивания отверстия во втулке, запрессованной в отверстие поршневой головки шатуна (КК-1454) и др. Специальные расточные станки изготавливают также заводы Министерства сельского хозяйства и продовольствия (ОР-14556, ОР-14560, ОР-14572, ОР-14573 и другие – для одновременного растачивания коренных опор блоков цилиндров и втулок распределительного вала различных двигателей). Станки типа ОР, обладая малой массой и жесткостью, не способны обеспечить нормативную точность обработки отверстий, поэтому в настоящей работе не рассматривались. Применительно к обработке гильз цилиндров двигателей проводилось сопоставление вертикально-расточных станков: универсальных 2Н78 и специального четырехшпиндельного ОС-2777. Станок ОС-2777 одновременно обрабатывает 4 изделия со скоростью резания, превышающей в два раза скорость резания на станке 2Н78. Благодаря большой жесткости станка и резцам, изготовленным из сверхтвердых материалов, параметры обработанной детали соответствует нормативам, в том числе по цилиндричности отверстия, составляющей не только долю допуска на размер, но и долю допуска размерной группы. С объемами до 25 тыс. ремонтов в год справляется один станок ОС-2777, в то время как для обеспечения принятых объемов выпуска продукции необходимо иметь от 4 до 10 станков 2Н78. Разряд работы на станках – третий.

Результаты технико-экономических расчетов сведены в таблицу 3. При всех объемах ремонта применение станка ОС-2777 выглядит предпочтительнее. Годовая экономия средств от его использования при росте объемов ремонта агрегатов с 6,3 до 25 тыс. в год изменяется от 50,2 до 287,5 тыс. руб. При изменении вида обрабатываемых ремонтных заготовок станок может быть легко перепрофилирован под другие работы путем замены установочного приспособления.

Таблица 3

Результаты обоснования выбора расточных и шлифовальных станков

Показатели	Объемы ремонта, тыс. в год	Станки						
		вертикально-расточные		горизонтально-расточные		кругло-шлифовальные		
		2Н78	ОС-2777	2М614	13А458	3В423	ХШ2-16	ХШ2-01
Капиталовложения, приведенные к одному году, тыс. руб.	6,3	6,6	19,9	11,5	13,4	83,2	61,2	66,3
	10	6,6	19,9	11,5	13,4	166,4	61,2	132,6
	16	9,8	19,9	11,5	13,4	249,6	122,4	132,6
	25	16,4	19,9	23,0	26,8	332,8	122,4	198,9
Текущие затраты на обработку комплекта изделий, тыс. руб.	6,3	90,1	13,4	9,8	7,5	15,5	9,4	
	10	137,0	21,2	13,6	10,2	30,1	14,1	
	16	223,2	34,0	18,3	13,8	44,2	21,3	
	25	337,5	53,0	24,3	19,7	58,7	28,2	
Сумма капиталовложений и текущих затрат, тыс. руб.	6,3	96,7	46,5	21,3	20,9	98,7	136,9	
	10	143,6	50,4	29,8	23,6	196,5	207,9	
	16	233,0	56,8	35,8	27,2	293,8	276,3	
	25	353,9	66,4	47,3	46,5	391,5	349,5	

Представляет интерес выбор оборудования из горизонтально-расточных станков: универсального 2М614, оснащенного специальным приспособлением, и специального 13А458 для обработки длинных прерывистых отверстий – коренных опор блока цилиндров. Достаточно иметь по одному из этих станков для объемов ремонта 16 тыс. агрегатов в год при односменной работе либо при повышении этих объемов, но при двухсменной работе. Разряд работы на станках – четвертый.

При всех рассмотренных объемах ремонта более эффективно применение специального оборудования. Относительная разница капиталовложений и общих текущих затрат, отнесенных к работе оборудования обоих видов, при увеличении объемов ремонта агрегатов уменьшается. При недогрузке универсального станка работами указанного вида, оно может быть использовано для выполнения других работ после замены приспособления. Специальный станок этого не допускает, он не будет востребован, хотя точность обработки заготовок на нем более высокая.

Доля наружных цилиндрических поверхностей, подвергаемых шлифованию, составляет 0,14-0,25 [10]. Наиболее представительной является обработка шеек коленчатых валов. Производился выбор станков для шлифования шеек коленчатых валов двигателей с рабочим объемом 4,25 л. Сравнивались специализированные станки 3В423 для шлифования коренных и шатунных шеек автотракторных двигателей со специальными станками ХШ2-16 (ЛТ-80) для шлифования коренных шеек и ХШ2-01 для шлифования шатунных шеек. Обрабатывают заготовки шлифовщики четвертого разряда. Обработка на специальных шлифовальных станках обеспечивает повышение производительности труда в 1,75 раза при достижении нормативных значений размеров шеек и их нецилиндричности до 5 мкм.

Объемы восстановления 6,3 тыс. коленчатых валов в год требуют двух станков 3В423 или одного станка ХШ2-16 и одного станка ХШ2-01. Для объемов восстановления 25 тыс. коленчатых валов в год необходимы 8 станков 3В423 или 2 станка ХШ2-16 и 3 станка ХШ2-01. Граница экономически обоснованного применения специального оборудования соответствует объемам восстановления деталей около 10 тыс. в год. При объемах восстановления деталей 16 тыс. в год разница затрат составляет 17,5 тыс. бел. руб. в пользу применения специальных станков ХШ2-16 (ЛТ-80) и ХШ2-01, а при

достижении объемов восстановления деталей 25 тыс. в год эта разница составляет 42,0 тыс. руб. за счет уменьшения удельных капиталовложений, отнесенных к единице продукции. Заработная плата при обработке одной заготовки на универсальном станке (3В423) больше соответствующего показателя при обработке на специальном оборудовании в 1,77 раза при любых объемах выпуска. Капиталовложения в специальное оборудование при объемах восстановления 10 тыс. деталей в год в 1,16 раза превышают соответствующий показатель универсального оборудования. При объемах восстановления 25 тыс. деталей в год это соотношение достигает значения 0,97.

Выводы. Обоснован выбор технологического оборудования, которое в наибольшей степени влияет на себестоимость и качество ремонта агрегатов. Использование специальных четырехшпиндельных станков ОС-2777 при обработке гильз цилиндров более эффективно по сравнению с универсальными станками 2Н78 при всех рассмотренных объемах ремонта двигателей. Годовая экономия финансовых средств от использования этих станков при росте объемов ремонта агрегатов с 6,3 до 25 тыс. в год изменяется от 50,2 до 287,5 тыс. бел. руб. Обработка длинных прерывистых отверстий (коренных опор блока цилиндров) более эффективна на специальном оборудовании. Рациональная область применения специальных шлифовальных станков для обработки шеек коленчатых валов начинается с объемов восстановления деталей более 10 тыс. в год. Область эффективного применения специальных станков начинается с объемов производства 6,3-10 тыс. агрегатов в год.

Библиографический список

1. Дьячков В.Б., Кабатов Н.Ф., Носинов М.У. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение. 1983. 288 с.

2. Санинский В.А. Металлорежущие станки для обработки глубоких прерывистых отверстий в блок-картерах // Двигателестроение. 1987. N9. С. 39-41.

3. Огородник И.А. Использование специальных станков при восстановлении корпусных деталей // Техника в сельском хозяйстве. 1985. N12. С. 41-44.

4. Суслов В.П., Огородник И.А. Восстановление блоков цилиндров на поточно-механизированной линии // Техника в сельском хозяйстве 1986. N11. С. 50-53.

5. Завистовский С.Э. Металлорежущие станки. Мн.: РИПО. 2015. 440 с.

6. Базров Б.М., Насиров Э.З. Повышение эффективности станков на основе модульной технологии // Вестник машиностроения. 2007. N2. С. 58-61.

7. Сибикин М.Ю. Современное металлообрабатывающее оборудование: справочник. М.: Машиностроение. 2013. 308 с.

8. Голембиевский А.И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении. Новополоцк: РИО ПГУ. 2017. 235 с.

9. Бурдо Г.Б. Повышение эффективности технической подготовки производства в многономенклатурном машиностроении // Вестник машиностроения. 2018. N8. С. 72-76.

10. Коробко В.И., Иванов В.П., Семенов В.И. Технологическое оснащение ремонтного производства. Мн.: Універсітэцкае. 1994.140 с.

References

1. Dyachkov V.B., Kabatov N.F., Nosinov M.U. Special machine tools for general engineering applications: a reference book. Moscow: Mashinostroenie. 1983. 288.

2. Saninsky V.A. Metal-cutting machines for processing deep interrupted holes in the crankcase. Dvigatelestroyeniye. 1987. N9. 39-41.

3. Ogorodnik I.A. The use of special machines for the restoration of body parts. Technique in agriculture. 1985. N12. 41-44.

4. Suslov V.P., Ogorodnik I.A. Restoration of cylinder blocks on a flow-mechanized line. Technique in agriculture. 1986. N11. 50-53.

5. Zavistovsky S.E. Metal-cutting machines. Minsk: RIPO. 2015. 440.

6. Bazrov B.M., Nasirov E.Z. Improving the efficiency of machine tools based on modular technology. Bulletin of mechanical engineering. 2007. N2. 58-61.

7. Sibikin M.Y. Modern metalworking equipment: a handbook. Moscow: Mashinostroenie. 2013. 308.

8. Golembievsky A.I. Systemology of methods of formative processing in mechanical engineering. Novopolotsk: RIO PSU. 2017. 235.

9. Burdo G.B. Improving the efficiency of technical preparation of production in multi-machine engineering. Bulletin of mechanical engineering. 2018. N8. 72-76.

10. Korobko V.I., Ivanov V.P., Semenov V.I. Technological equipment repair production. Minsk: Universititskay. 1994. 140.

УДК 631.95

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЕЦИКЛИНГА ТЕХНИКИ

Владимир Ильич Игнатов, доктор технических наук, главный специалист;
Валерий Сергеевич Герасимов, e-mail: rosagroserv@list.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *XXI век обострил проблемы, вызванные критическим состоянием экосистем в целом. (Цель исследования) Определить современные тенденции развития и совершенствования рециклинга техники. (Материалы и методы) Основными факторами стратегических рисков экологического направления являются: захламление, деградация и химическое загрязнение земель, почв, водных объектов; загрязнение водных объектов в результате разливов нефтепродуктов и других загрязняющих веществ; порча, засорение и загрязнение земель водоохранных зон; засорение акваторий, дна и берегов водных объектов; уничтожение и повреждение зеленых насаждений, повреждение мест обитания объектов животного мира; загрязнение атмосферного воздуха отходами, а также в результате пожаров и сгорания энергосодержащих компонентов отходов. Эти риски можно минимизировать лишь созданием системы «Рециклинг отходов» как федеральной отрасли промышленности России. (Результаты и обсуждение) Для агропромышленного комплекса создание эффективной системы рециклинга отходов носит первостепенное значение, так как эта отрасль имеет огромное количество как биоотходов, так и компонентов утилизации сельскохозяйственной техники и оборудования. Необходимость координирования этой работы, включая создание перспективной отрасли рециклинга в АПК России, диктуется следующими факторами: возвращение в сферу материального производства вторичных ресурсов; интеграция производителей машин и потребителей; обеспечение экологической безопасности; получение дополнительных рабочих мест. Для сельскохозяйственной отрасли развитие рециклинга создает новые ресурсы, улучшает экологию. Решение этих проблем требует серьезного государственного подхода. (Выводы) На основании проведенных исследований в ФНАЦ ВИМ создание ресурсосберегающей экологоориентированной интеллектуальной системы «Рециклинг отходов» позволит реализовать в АПК новую стратегию использования ресурсов, связанную с их многократной переработкой и созданием ряда замкнутых ресурсных циклов, что приведет к стабилизации социальной неустойчивости, переходу к другим алгоритмам организации и самоорганизации сельскохозяйственного производства России.*

Ключевые слова: *рециклинг, экология, вторичные ресурсы, стратегия, сельскохозяйственная техника, методология, отходы.*

Для цитирования: *Игнатов В.И., Герасимов В.С. Современные тенденции рециклинга техники //Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 34-39.*

CURRENT TRENDS IN RECYCLING TECHNOLOGY

Vladimir I. Ignatov, Dr.Sc.(Eng.), chief specialist;
Valery S. Gerasimov, e-mail: rosagroserv@list.ru
Federal agricultural research centre VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The twenty-first century has exacerbated the problems caused by the critical condition of ecosystems as a whole. (Research purpose) to Determine the current trends in the development and improvement of recycling technology. (Materials and methods) The main factors of strategic environmental risks are: contamination, degradation and chemical pollution of land, soil, water bodies; pollution of water bodies as a result of spills of oil products and other pollutants; damage, contamination and contamination of land water protection zones; contamination of water areas, bottom and shores of water bodies; destruction and damage to green spaces, damage to habitats of wildlife; air pollution by waste, as well as fire and combustion of energy-containing components of waste. These risks can be minimized only by creating a system of "waste Recycling" as a Federal industry in Russia. (Results and discussion) For the agro-industrial complex, the creation of an effective waste recycling system is of paramount importance, since this industry has a huge amount of both biowaste and components for the disposal of agricultural machinery and equipment. The need to coordinate this work, including the creation of a promising recycling industry in the agricultural sector of Russia, is dictated by the following factors: return to the sphere of material production of secondary resources; integration of machine manufacturers and consumers; ensuring environmental safety; getting additional jobs. For the agricultural sector, the development of recycling creates new resources, improves the environment. The solution to these problems requires a serious state approach. (Summary) On the basis of the research carried out at the Federal state agrarian university, the creation of a resource-saving ecological-oriented intellectual system "waste Recycling" will allow to implement a new strategy of resource use in agriculture, associated with their multiple use and the creation of a number of closed resource cycles, which will lead to the stabilization of social instability, the transition to other algorithms of organization and self-organization of agricultural production in Russia.*

Keywords: *recycling, ecology, secondary resources, strategy, agricultural machinery, methodology, waste.*

For citation: *Ignatov, V.I., Gerasimov V.S. Modern trends in recycling equipment. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 34-39.(In Russian).*

Введение. XXI век обострил проблемы, вызванные критическим состоянием экосистем в целом. Допустимый экологический предел значительно превышает реальные изменения окружающей среды, за пределами которых ее устойчивость нарушается. Этот процесс начался в процессе третьей научно-техническая революция второй половины XX века, связанной с комплексной автоматизацией рабочих процессов. Она привела к росту производства продукции и особенно материалоемкой и наукоемкой техники.

Цель исследования – определить современные тенденции развития и совершенствования рециклинга техники.

Материалы и методы. В настоящее время все ведущие аналитики мирового уровня пришли к выводу, что к 2150 году народонаселение стабилизи-

руется, чего нельзя сказать про природные ресурсы, учитывая темпы роста их добычи, увеличение производства продукции и населения. Уже через несколько десятков лет некоторые виды ископаемых, в том числе металлические, иссякнут (рис. 1) [1].

Железо	рентабельными запасами, лет	всего, лет
МИР, всего	95	219
В т.ч. РФ	238	533
США	128	278
Бразилия	77	203
Австралия	56	148
Индия	44	65
Китай	40	88

Рис. 1. Обеспеченность собственными металлоресурсами

Опасения относительно нехватки ресурсов усилились с началом четвертой промышленной революции, которая несет в себе риски повышения нестабильности и возможного коллапса мировой системы и потребует изменения имеющихся принципов экономики.

Многие аналитики и экономисты считают, что наряду с позитивными моментами ее прихода возникнет ряд проблем мирового уровня, которые человечеству предстоит решать в ближайшее время. В первую очередь это связано с невозобновляемыми ресурсами.

Наиболее дальновидные экономисты утверждают, что только при бережном отношении к ресурсам возможно дальнейшее развитие цивилизации на Земле [2, 3]. Считается, что используемая в настоящее время линейная модель цифровой экономики, базирующаяся на принципе «take, make, waste» «брать-производить-выбрасывать», приведет страны на грань выживания, и будет способствовать к переходу на агрессивный принцип «выживает сильнейший» [4]. Циркулярная экономика может развиваться на основе разнообразных подходов в промышленности и сельском хозяйстве с учетом создания замкнутых цепей поставок и использования принципа «бери, делай, используй повторно» (рис. 2).

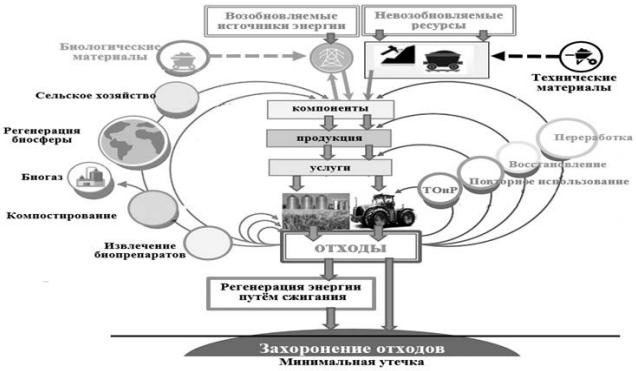


Рис. 2. Принцип циркулярной экономики

В ее рамках применительно к промышленности последовательно интегрируются следующие процессы: разработка месторождений полезных ис-

копаемых, заготовка и переработка природного сырья, производство комплектующих, промежуточной и готовой продукции, ее транспортировка и сбыт, конечное потребление, а также сбор отслуживших изделий и выполнение последующих восстановительных операций с целью повторного использования сохраненного сырья. К числу стран эффективно использующих циркулярную экономику относятся Нидерланды, Япония, Австрия, Германия, Великобритания и другие. Правительство Китая принимает циркулярную экономику как жизненно важную стратегию для достижения целей устойчивого развития (рис. 3).

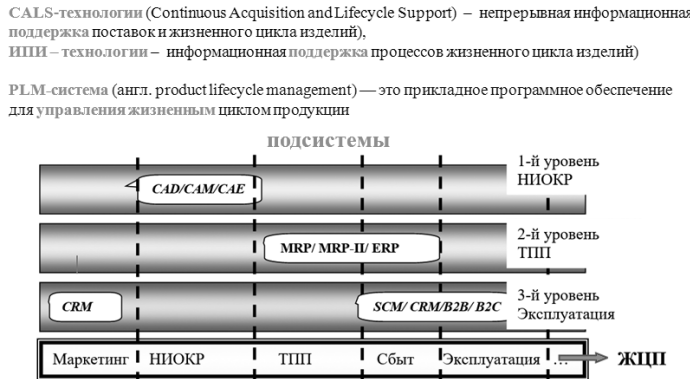


Рис. 3. Инструменты циркулярной экономики

Инструментами этой экономики являются цифровые технологии, которые кроме поддержки процессов жизненного цикла продукции позволяют управлять этим циклом на всех его этапах, используя соответствующие подсистемы; стандартный интерфейс взаимодействия программ PDF-системы (рис. 4).

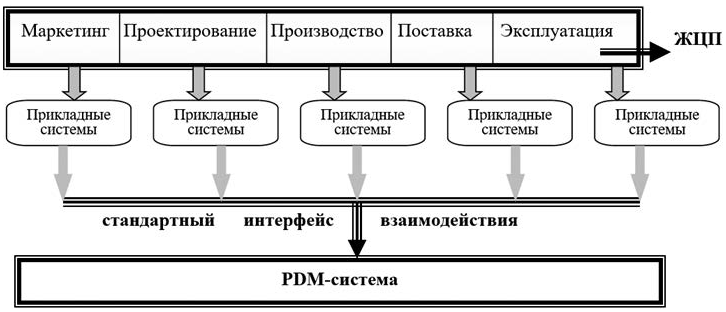


Рис. 4. Схема взаимодействия прикладных систем и системы управления

Для России в практическом плане переход к модели циркулярной экономики является жизненно важным прежде всего ввиду высоких объемов неиспользуемых отходов, которые существенно превышают параметры, характерные для развитых зарубежных стран [5].

В настоящее время при утилизации различных видов техники ежегодно извлекается около 8 млн тонн черного металла. Но это составляет только около 40% лома утилизируемой техники. Примерно 60% машин утилизируют «серые утилизаторы», и реализация этого металла не поддается статистике. Чтобы избежать таких издержек в АПК, ФНАЦ ВИМ предлагает использовать разработанный вариант создания отраслевой системы утилиза-

ции сельскохозяйственной техники (СХТ) [6, 7, 8, 9], схема функционирования которой представлена на рисунке 5.

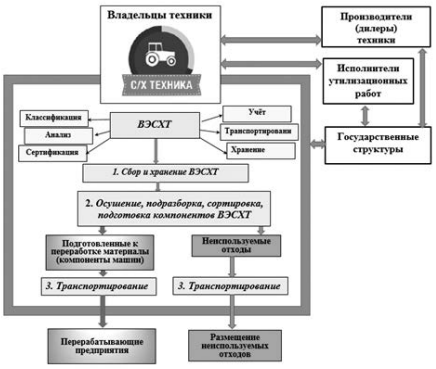


Рис. 5. Схема отраслевой системы утилизации СХТ

Исследования ВИМ показали, что результаты этих разработок можно применить и к другим видам техники, а отраслевые системы утилизации позволят решить целый ряд важнейших для народного хозяйства страны первоочередных задач по бережливому использованию ресурсов и экологической безопасности [10].

Выводы. Решение основных принципиальных вопросов по совершенствованию рециклинга техники сводится к следующему:

- переход на циркулярную экономику позволит максимально обеспечить сбережение ресурсов и сохранение экологического равновесия;
- одним их эффективных способов сохранения ресурсов является создание и функционирование систем рециклинга отходов, в том числе и техники;
- ВИМ, опираясь на разработанный проект по созданию отраслевой системы утилизации СХТ, предлагает тиражировать его и на другие отдельные отрасли народного хозяйства (лесная, дорожно-строительная и др.).

Библиографический список

1. *Образование металлолома и значение использования вторичных металлов. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://proizvodim.com/obrazovanie-metalloloma-i-znachenie-ispolzovaniya-vtorichnyx-metallov-2.html.*

2. *Хербель Ян-Дирк. Основные черты системы управления отходами в Германии. Электронный ресурс. Источник: http://www.baikal-waste.eu/rus/pdf/publikationen/upravlenie_othodami_v_Germanii.pdf.*

3. *Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы. Санкт-Петербург. 2005 // НП «Региональное Энергетическое Партнерство» (электронный ресурс). http://www.waste.ru/uploads/library/wb2.pdf.*

4. *Игнатов В.И. Новая концепция формирования системы утилизации техники //Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: htth://ej.kubagro.ru/206/07/pdf/66.pdf. 2016. N7(121). С. 1065-1080.*

5. *Ignatov V.I. Formation of Equipment Disposal System in the Agro-Industrial Complex of Russia as a Part of a Unified production and Consumption Wastes Handling System. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Вып. 12 (8). С. 205802972. Режим доступа: http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2017.2058.2072.*

6. Соловьев С.А., Федоренко В.Ф., Игнатов В.И., Герасимов В.С., Макуев В.А., Голубев И.Г. Утилизация сельскохозяйственной техники: проблемы и решения. М.: Росинформагротех. 2015. 171 с.

7. Соловьев С.А., Герасимов В.С., Игнатов В.И. Зачем нужна система утилизации техники. Материалы Международной научно-практ. конф. на 25-й Междунар. специализир. выст. «Белагро-2015». МИНСК: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. 2015. С. 86-96.

8. Соловьев С.А., Горячев С.А. Инновационное развитие инженерно-технической системы в сельском хозяйстве России // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 10-15.

9. Игнатов В.И. Утилизационный сбор: путь к развитию промышленности России или к ее дальнейшей деградации? // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/75.pdf. 2016. N7 (121). С. 1190-1206.

10. Герасимов В.С., Соловьев Р.Ю., Игнатов В.И. Обоснование необходимости разработки системы утилизации сельскохозяйственной техники // Лесной вестник. 2014. N2. С. 28-34.

References

1. The formation of scrap metal and the importance of the use of secondary metals. [Electronic resource]. Access mode: http://Proizvodim.com/obrazovanie-metalloloma-i-znachenie-ispolzovaniya-vtorichnyx-metallov-2.html.

2. Herbell Jan-Dirk. The main features of the waste management system in Germany. Electronic resource. Source: http://www.baikal-waste.eu/rus/pdf/publikationen/upravlenie_othodami_v_Germanii.pdf.

3. European waste management practices: problems, solutions, prospects. Saint-Petersburg. 2005 / / NP "Regional energy Partnership" (electronic resource). http://www.waste.ru/uploads/library/wb2.pdf.

4. Ignatov V.I. New concept of formation of the system of utilization of equipment. Polythematic network electronic journal of the Kuban state agrarian University (scientific journal of Kubgau) [Electronic resource]. Access mode: htth: ej.kubagro.EN/206/07/pdf / 66.pdf. 2016. N7 (121). 1065-1080.

5. Ignatov V.I. Formation of Equipment and Disposal system in the Agro-Industrial Complex of Russia as a Part of a Unified production and Handling system. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Iss. 12 (8). 205802972. Access mode: http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2017.2058.2072.

6. Soloviev S.A., Fedorenko V.F., Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Makeev V.A., Golubev I.G. Utilization of agricultural machinery: problems and solutions. Moscow: Rosinformagrotekh. 2015. 171.

7. Solovyov S. A., Gerasimov V.S., Ignatov V.I. Why do we need a system of recycling equipment. Materials of the International scientific and practical work. Conf. on the 25th international. specialist. CA. "Belagro-2015". MINSK: Institute of system studies in the agro-industrial complex of NAS of Belarus. 2015. 86-96.

8. Solov'ev S.A., Goryachev S.A. Innovative development of the engineering system in agriculture of Russia. Proceedings of the state research INSTITUTE. 2015. Vol. 121. 10-15.

9. Ignatov V.I. Utilization collecting: the way to development of the industry of Russia or to its further degradation? Polythematic network electronic scientific journal of Kuban state agrarian University (scientific journal of Kubgau) [Electronic resource]. Access mode: http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/75.pdf ahhh! 2016. N7 (121). 1190-1206.

10. Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Solovyov V.I. Justification of the need for the system of agricultural machinery utilization. Lesnoy Vestnik. 2014. N2. 28-34.

УДК 621.436

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО РЕГУЛИРОВЩИКА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ БЕЗМЕНЗУРОЧНОГО ОДНОКАНАЛЬНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Алексей Алексеевич Кочуров[1], кандидат технических наук, профессор;
Дмитрий Владимирович Зуб[2], младший научный сотрудник,
e-mail: dima31@bk.ru;
Алексей Зиновьевич Аксенов[2], руководитель
[1]Рязанское высшее воздушно-десантное
командное училище им. В.Ф. Маргелова,
[2]Рязанское отделение Федерального научного агроинженерного
центра ВИМ, г. Рязань, Российская Федерация

Реферат. *В статье рассматривается возможность повышения эффективности дизельных двигателей за счет увеличения точности настройки топливной аппаратуры (ТА). Существующая методика предусматривает проверку приборов ТА по отдельности, что при установке на двигатель приводит к большой суммарной погрешности цикловой подачи в цилиндры. (Цель исследования) Уменьшить величину отклонения цикловой подачи на основе метода комплексной проверки ТА, и на базе стенда КИ-35478 построить стенд, позволяющий сократить время регулировки ТА с сохранением точности измерения. (Материалы и методы) В ВИМ разработали стенд для испытания топливных насосов высокого давления (ТНВД) КИ-35478, основанный на поочередном измерении параметров всех секций с использованием единого измерительного канала. На основе стенда КИ-35478 разработана концепция автоматизированного рабочего места регулировщика топливной аппаратуры, позволяющая построить типоразмерный ряд диагностических стендов для проведения ремонтно-диагностических работ с насосами от 4 до 12 плунжерных секций. (Результаты и обсуждение) Создали опытный образец диагностического стенда для ТА до 12 секций КИ-35479, позволяющий настраивать топливоподающий тракт как в комплекте с рабочими форсунками и топливопроводами, так и со стендовыми приборами ТА. Провели испытания опытного образца с насосами УТНМ4 и КАМАЗ-740, время обслуживания которых сократилось на 22-25% по сравнению с аналогичными работами на стенде КИ-35478. (Выводы) Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет осуществить построение типоразмерного ряда диагностических стендов ТА, а также модернизацию ранее выпущенного оборудования с целью увеличения точности настройки и сокращения простоев сельскохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *диагностика топливной аппаратуры, увеличение точности настройки, модернизация диагностического стенда.*

Для цитирования: *Кочуров А.А., Зуб Д.В., Аксенов А.З. Автоматизированное рабочее место регулировщика топливной аппаратуры на основе безмензурочного одноканального метода измерения параметров //Технический сервис машин. 2019. Т. 134(1). С. 40-45*

AUTOMATED WORKPLACE OF THE OF THE FUEL EQUIPMENT ADJUSTER ON THE BASIS OF SINGLE-CHANNEL METHOD OF MEASURING THE PARAMETERS USING VOLUMETRIC FLOWMETER

Alexey A. Kochurov[1], Ph.D.(Eng.), professor;
Dmitry V. Zub[2], junior researcher, e-mail: dima31@bk.ru;
Alexey Z. Aksenov[2] ,
[1]Ryazan high airborne command school named
of the General of the army V. Margelov,
[2]Ryazan branch of the Federal agricultural research centre, VIM,
Ryazan, Russian Federation

Abstract. *The article discusses the possibility of improving the efficiency of diesel engines by increasing the accuracy of the fuel equipment tuning. The existing method of checking the fuel equipment recommends checking the devices separately, when installed on the engine leads to the increasing total error in the fuel injection rate to the cylinders. (Purpose of research) To reduce the value of the cyclic feed deviation on the basis of the method of complex check of TA, and on the basis of the stand KI-35478 to build a stand, allowing to reduce the time of TA adjustment while maintaining the accuracy of measurement. (Materials and method) In the Ryazan branch of VIM was developed a test bench for fuel injection pump KI-35478 based on the sequential measurement of the all sections parameters of the injection pump using a single measuring channel having a high measurement accuracy of diagnostic parameters, flexibility, low energy consumption of the transmission and accordingly lower cost. The disadvantage of this test bench is the need to alternately connect the testing section to the measuring channel, and connecting the remaining sections of the fuel pump to the drain line, which affects the increase in time spent on the diagnosis and adjustment of injection pump. On the basis of the test bench KI-35478 the concept of the automated workplace of the fuel equipment adjuster allowing to construct a standard series of diagnostic test benches for repairing and diagnosting of fuel pumps from 4 to 12 plunger sections is developed. Results and discussion. A prototype of a diagnostic test bench for testing pumps up to 12 sections, named KI-35479, has been created, which allows adjusting the fuel supply path as complete with regular injectors and fuel pipes, as well as with calibrated devices. Conducted prototype testing with pumps УТНМ4 and KAMAZ-740, the service time has decreased by 22-25% in comparison with similar works on the stand KI-35478. (Summary) The developed software and hardware complex allows to create the full range of diagnostic test benches and also allows modernization of previously released diagnostic equipment in order to increase the accuracy of tuning and reduce downtime of agricultural machinery.*

Keywords: *diagnostics of fuel equipment, increasing the tuning accuracy, modernization of diagnostic test bench.*

For citation: *Kochurov A.A., Zub. D.V., Aksenov A.Z. Automated workplace of the regulator of the fuel equipment on the basis of a one-channel method of measurement of parameters.Technical service of cars. 2019.N.1. P. 40-45.(In Russian).*

Введение. Мощность, экономичность и соответствие экологическим нормам двигателей автотракторной техники во многом зависят от правильной настройки параметров топливоподающего тракта, таких как равномерность

цикловой подачи, угол опережения впрыскивания, характеристика впрыскивания и качество распыливания топлива.

Используемые в настоящее время методики испытаний приборов ТА дизельных двигателей рекомендуют индивидуальную диагностику, регулировку и испытание элементов ТА. При этом ГОСТ 10578-96 и РТМ определяют допустимые отклонения для каждого прибора ТА в отдельности [1, 2]. При установке на двигатель всех отрегулированных по отдельности приборов в составе комплекта суммарная величина отклонения цикловой подачи в цилиндры может заметно увеличиваться.

Цель исследования – уменьшить величину отклонения цикловой подачи на основе метода комплексной проверки ТА, и на базе стенда КИ-35478 построить стенд, позволяющий сократить время регулировки ТА с сохранением точности измерения.

Материалы и методы. Комплексная оценка соответствия топливной аппаратуры (ТА) предъявляемым требованиям проводится на специальных испытательных стендах. Можно выделить четыре группы испытаний. Первая группа – проведенные на заводе-изготовителе обкаточные, регулировочные и контрольно-сдаточные испытания на последней стадии технологического процесса. Вторая группа – испытания ТА при ремонте и техническом обслуживании в процессе ее эксплуатации на ремонтно-технических станциях.

Третья группа включает испытания по подготовке и проведению специальных исследований ТА в лабораторных условиях. В четвертую группу входят испытания ТА с целью периодической проверки качества ее изготовления, и приемочные испытания ТА новых и модернизированных конструкций, проводимые на заводах-изготовителях. Исследования показывают, что на практике для эффективной работы дизеля неравномерность цикловой подачи топлива не должна превышать 2% на номинальном режиме, 4 – в режиме максимального крутящего момента и до 30% в режиме минимального холостого хода [3-5]. Существующая методика диагностики предполагает индивидуальную проверку всех элементов топливной системы. Кроме того, РТМ регламентирует при диагностике и регулировке ТА использовать стендовые форсунки и топливопроводы, параметры которых оказывают существенное влияние на идентичность и стабильность параметров топливоподачи, так как они участвуют в формировании характеристики впрыскивания топлива. Установка топливного насоса высокого давления (ТНВД) на двигатель в комплекте с рабочими форсунками и топливопроводами, которые отличаются от стендовых по гидравлическим характеристикам, может привести к неравномерности подачи топлива по секциям насоса до 20% [6]. Ранее ГОСНИТИ запатентовано решение, позволяющее уменьшить суммарную неравномерность цикловой подачи за счет испытания приборов ТА в комплекте с рабочими форсунками и топливопроводами [7]. На основе патента разработан стенд КИ-35478 для диагностики топливной аппаратуры, реализующий одноканальный метод измерения и позволяющий проводить диагностику и регулировку ТА. К достоинствам этого оборудования можно отнести сравнительно небольшую мощность привода и одновременно универсальность стенда, позволяющую испытывать на нем все типы топливной аппаратуры. Однако применяемая в стенде методика предусматривает поочередное подключение испытываемой секции к измерительному тракту и подсоединение остальных секций топливного насоса к сливной магистрали. Это не сказывается на качестве проводимых

ремонтных работ, но увеличивает время, затрачиваемое на диагностику и регулировку ТНВД. На базе технических решений, опробованных в стенде КИ-35478, Рязанским отделением ВИМ была разработана концепция автоматизированного рабочего места регулировщика топливной аппаратуры, основным элементом которого является диагностический стенд КИ-35479.

Функциональная схема стенда показана на рисунке 1.

Рис. 1. Функциональная схема стенда КИ-35479

Измерение цикловой производительности ТНВД происходит последовательно посредством подключения установленных на стенд форсунок контроллером через управляемые клапана к расходомеру. Это позволяет свести к минимуму относительную погрешность измерения, так как используется один общий канал измерения цикловой производительности. Кроме того, такая схема измерения позволяет обойтись одним дорогостоящим расходомером вместо 4-8-12 (по количеству секций), установленных в каждом канале измерения. Разработанный стенд для испытания и регулировки топливных насосов высокого давления отличается от существующих российских и зарубежных аналогов возможностью настройки топливной аппаратуры дизельного двигателя в комплекте со штатными элементами топливной системы. Стенд (рис. 2) комплектуется оригинальными кронштейнами, позволяющими устанавливать стендовые или штатные (от конкретного двигателя) форсунки на том же месте, относительно ТНВД, на котором они располагаются в двигателе. Такое расположение позволяет использовать при регулировке штатные трубки высокого давления. Измерительная часть стенда подключается к топливной системе с помощью камер впрыска, которые крепятся непосредственно к форсункам. Камеры соединены с расходомером с помощью гибких шлангов, а датчики давления, расположенные в этих камерах, соединены с контроллером стенда электрическим кабелем. Фазовые параметры в новом стенде определяются измерением давления в камерах впрыска (пеногасящих камерах). Это позволяет прямым измерением определить время начала впрыска, что выгодно отличает предложенный метод от методов косвенного измерения фазовых параметров, например, с помощью накладных пъезодатчиков, размещаемых на трубках высокого давления.

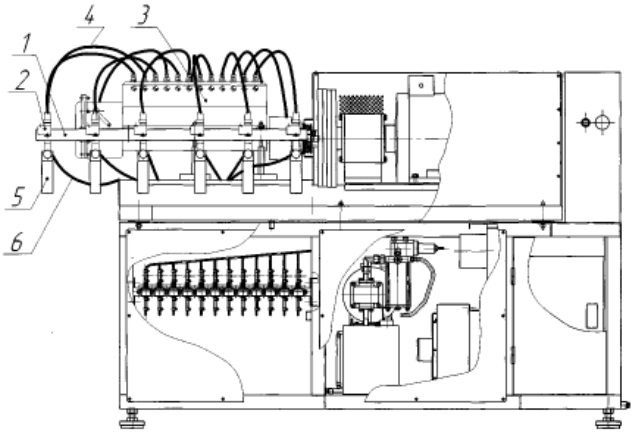


Рис. 2. Конструкция стенда: 1 – кронштейн для крепления форсунок; 2 – форсунки; 3 – топливный насос; 4 – трубки высокого давления; 5 – камеры впрыска; 6 – гибкие шланги

Результаты и обсуждение. Проведенная таким методом регулировка по точности значительно превосходит регулировку ТНВД, проведенную со стендовыми форсунками и стендовыми трубками высокого давления, так как параметры штатных форсунок и трубок высокого давления отличаются от параметров стендовых минимум на поле допуска. При этом погрешность точности настройки каждой секции топливной системы, проведенной по стандартной методике, будет складываться из:

- погрешности настройки стендовой форсунки;
- погрешности настройки штатной форсунки;
- погрешности настройки стендовой трубки высокого давления;
- погрешности настройки штатной трубки высокого давления;
- погрешности настройки секции ТНВД.

При предложенном способе регулировки, возможном на разработанном стенде, остается только одна составляющая – погрешность настройки секции топливной системы в целом. Проводя регулировку всей топливной системы, можно настройкой компенсировать различия между параметрами штатных (рабочих) форсунок и трубок высокого давления.

Предложенная конструкция стенда не исключает возможности проведения регулировок и традиционными способами. Для этого на стенде предусмотрена установка кронштейна для крепления стендовых форсунок с использованием стендовых трубок высокого давления.

На базе примененных в стенде КИ-35479 решений возможно построение типоразмерного ряда диагностических стендов с различной мощностью электропривода для проведения ремонтно-диагностических работ с насосами от 4 до 12 плунжерных секций. Проведенные на опытном образце стенда КИ-35479 на 12 секций эксперименты по регулировке топливных насосов высокого давления УТНМ-4 и КАМАЗ-740 показали, что время, затрачиваемое регулировщиком на настройку ТНВД, по сравнению с работой на стенде КИ-35478, сократилось на 22 и 25% соответственно.

Выводы. Экспериментальная проверка доказывает эффективность применяемых решений и, хотя сохраняется актуальность малогабаритного стенда с маломощным приводом типа КИ-35478 для небольших мастерских и ин-

дивидуальных предпринимателей, можно порекомендовать новую модель оборудования для более крупных ремонтных предприятий.

Комплект электроники вместе с оригинальным программным обеспечением, применяемый при создании измерительного тракта стенда КИ-35479, может быть использован для модернизации существующих диагностических стендов, что позволит увеличить точность регулировки топливной аппаратуры и сократить время, затрачиваемое на обслуживание.

Библиографический список

1. ГОСТ 10578-95. Насосы топливные дизельные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов. 1997. 17 с.

2. Федосов И.М., Машкин А.Л. Руководство по испытанию и регулировке топливной аппаратуры автотракторных дизелей. Малоярославец: ОАО «МОПАЗ». 2004. 76 с.

3. Файнлейб Б.Н., Голубков И.Г., Ключев Л.А. Методы испытаний и исследований топливной аппаратуры автотракторных дизелей. М.: Машиностроение. 1965. 175 с.

4. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. М.: Легион-Автодата. 2008. 248 с.

5. Щеглов В.А. Исследование неравномерности работы топливной аппаратуры дизелей // Сборник: Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет. 2017. С. 285-299.

6. Чемазоков М.М. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем совершенствования режима настройки топливных насосов высокого давления при выполнении ремонтно-обслуживающих работ: дисс…. кандидата технических наук: 05.20.01, 05.20.03 Нальчик. 2006. 154 с.

7. Патент РФ 2398127, 30.07.2007, F02M 65/00. Способ испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры (варианты) / Бетин В.Н., Кочуров А.А., Зуб Д.В., Козлов С.А. Заявлено 2007129164/06, 30.07.2007. Опубликовано: 27.08.2010. Бюл. N 24.

References

1. GOST 10578-95. Diesel fuel pumps. General specifications. Moscow: Publishing standards. 1997. 17.

2. Fedosov I.M., Mashkin A.L. Manual for testing and adjustment of fuel equipment of automotive diesel engines. Maloyaroslavets: OJSC "MOPAZ". 2004. 76.

3. Fainleib B.N., Golubkov I.G., Kluchev L.A. Methods of testing and research of fuel equipment of automotive diesel engines. Moscow: Mashinostroenie. 1965. 175.

4. Gabitov I.I., Grehov L.V., Negovora A.V. Maintenance and diagnostics of fuel equipment of automotive diesel engines. Moscow: Legion-Avtodata. 2008. 248.

5. Shcheglov V.A. A study of operation irregularity of diesel fuel equipment. Collection: development of the theory and practice of road transport, transport logistics. Omsk: Siberian state automobile and road Un

iversity. 2017. 285-299.

6. Chemazokov M. M. Improving the performance of tractor diesel engines by improving the setting mode of the fuel high-pressure pumps during the repair and maintenance works . cand. of tech. Scien.: 05.20.01, 05.20.03. Nalchik. 2006. 154.

7. RF patent 2398127, 30.07.2007, F02M 65/00. Method of testing and adjustment of diesel fuel equipment (options) / Betin V.N., Kochurov A.A., Zub D.V., Kozlov S.A. 2007129164/06, 30.07.2007. Published: 27.08.2010. Byul. N 24.

УДК 631.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Анатолий Тимофеевич Лебедев[1], доктор технических наук, профессор,
e-mail: lebedev.1962@mail.ru;
Алексей Григорьевич Арженовский[2],
кандидат технических наук, доцент
[1]Ставропольский государственный аграрный университет,
г. Ставрополь, Российская Федерация;
[2]Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета,
г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

Реферат. *Одним из важнейших направлений повышения эффективности сель-скохозяйственного производства является совершенствование методов и средств определения основных показателей машинно-тракторных агрегатов (МТА). Установление взаимосвязи между отдельными параметрами агрегата и определение величины этих параметров позволяют повысить эффективность использования МТА. (Цель исследования) Повышение эффективности исполь-ования МТА путем совершенствования методов определения энергетических и топливно-экономических показателей МТА в условиях эксплуатации. (Ма-териалы и методы) Выбрали метод определения энергетических показателей элементов МТА в эксплуатационных условиях, заключающийся в резком уве-личении подачи топлива и фиксации соответствующих параметров разгона на переходном режиме. Определение топливно-экономических показателей элементов МТА осуществляется посредствам стенда для проверки и регулировки топливного оборудования путем совмещения с полученными энергетическими показателями. (Результаты и обсуждение) Разработали оперативные методы определения динамических качеств и топливной экономичности двигателя и трактора, а также тягового сопротивления рабочих машин, основанные на ана-лизе параметров переходных (динамических) режимов разгона элементов МТА при мгновенном увеличении подачи топлива. Выявили частные методики определения значений ускорения коленчатого вала двигателя на всем диапазоне частот вращения и действительного момента инерции двигателя, коррек-тировки мощности двигателя по давлению наддува на всем диапазоне частот вращения коленчатого вала, определения значений ускорения трактора и его приведенной массы на различных передачах. (Выводы) Разработанные опера-тивные методы и частные методики позволяют получить регуляторную харак-теристику двигателя, тяговую характеристику трактора, а также определить тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины в эксплуатационных условиях без применения дорогостоящего оборудования, существенных затрат средств и времени на подготовку и проведение.*

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат; переходный режим; регуляторная характеристика двигателя; тяговое сопротивление.*

Для цитирования: Лебедев А.Т., Арженовский А.Г. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов //Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 46-52

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF THE MACHINE AND TRACTOR UNITS USE

Anatoly T. Lebedev[1], Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: lebedev.1962@mail.ru;
Aleksej G. Arzhenovskij[2], Ph.D.(Eng), associate professor
[1]Stavropol state agrarian University,
Stavropol, Russian Federation;
[2]Azov-black sea engineering Institute-branch
Don state agrarian University, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Abstract. *One of the most important directions of increase of efficiency of agricultural production is improvement of methods and means of determination of the main indicators of machine and tractor units (MTA). The establishment of the relationship between the individual parameters of the unit and the determination of the value of these parameters can improve the efficiency of the use of MTA. (Purpose of research) Improving the efficiency of the use of MTA by improving methods for determining the energy and fuel-economic indicators of MTA in operation. (Materials and methods) Chose a method for determining the energy performance of MTA elements in operating conditions, which consists in a sharp increase in fuel supply and fixing the corresponding parameters of acceleration on the transition mode. Determination of fuel and economic indicators of elements of MTA is carried out by means of the stand for check and adjustment of the fuel equipment by combining with the received energy indicators. (Results and discussion) Developed operational methods for determining the dynamic qualities and fuel efficiency of the engine and tractor, as well as the traction resistance of working machines, based on the analysis of the parameters of transient (dynamic) modes of acceleration of MTA elements with an instant increase in fuel supply. Particular methods of determining the values of the engine crankshaft acceleration over the entire range of engine speed and actual engine inertia were revealed, adjusting the engine power by the boost pressure over the entire range of the crankshaft rotation frequency, determining the values of the tractor acceleration and its reduced mass at different stages. (Summary) The developed operational methods and private techniques allow to obtain the regulatory characteristics of the engine, traction characteristics of the tractor, as well as to determine the traction resistance of the agricultural machine in operating conditions without the use of expensive equipment, significant costs and time for preparation and implementation.*

Keywords: *machine and tractor unit; transition mode, regulatory characteristic of an engine; tractive characteristic of a tractor, draft of an agricultural machine.*

For citation: *Lebedev A.T., Arzhenovsky A.G. Improving the efficiency of the use of machine-tractor units. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 46-52. (In Russian).*

Введение. Эффективность использования машинно-тракторного агрегата (МТА) связана в основном с поддержанием его важнейших показателей рабо-тоспособности и оптимальных энергетических режимов. Она зависит от совершенства службы технического сервиса при ТО и ремонте, от применения оперативных методов и технических средств. Сущность научной проблемы заключается в комплексном использовании технических резервов повышения эффективности применения МТА. Необходимо постоянно обеспечивать работоспособное состояние техники, оптимизировать энергетические режимы работы МТА, осуществлять качественную настройку и

регулировку сельскохозяйственных машин [1-3]. С 1991 г. отечественной промышленностью не выпускаются многие средства диагностирования, в том числе и те, которые предназначены для испытания двигателей, тракторов и сельскохозяйственных машин в эксплуатационных условиях. Проведение испытаний в условиях машиноиспытательных станций требует дорогостоящего оборудования (тормозной стенд, динамометрическая лаборатория, тензометрическое звено для динамо-метрирования), а также существенных затрат средств и времени на их подготовку и проведение [4 -6].

Цель исследования – повышение эффективности использования МТА путем совершенствования методов определения энергетических и топливно-экономических показателей МТА в условиях эксплуатации.

Материалы и методы. За основу взят метод определения энергетиче-ских показателей элементов МТА в эксплуатационных условиях, заключаю-щийся в резком увеличении подачи топлива и фиксации соответствующих параметров разгона на переходном режиме. Определение топливно-экономических показателей элементов МТА осуществляется посредствам стенда для проверки и регулировки топливного оборудования путем совмеще-ния с полученными энергетическими показателями.

Результаты и обсуждение. В работе предложены оперативные методы определения энергетических и топливно-экономических показателей, основанные на анализе параметров переходных (динамических) режимов разгона элементов МТА (двигателя, трактора и сельскохозяйственных машин) при мгновенном увеличении подачи топлива.

1. Определение динамических качеств и топливной экономичности двигателя согласно заключается в следующем [7]. При резком увеличении подачи топлива в двигателе возникает переходный процесс разгона, во время которого определяют значения углового ускорения коленчатого вала на всем диапазоне угловых скоростей с последующим вычислением значений крутящего момента и мощности (без наддува) двигателя по формулам:

$$M_к = I_\partial \cdot (d\omega / dt) \text{Н·м}, \quad (1)$$

$$N_{бн} = I_\partial \cdot (d\omega / dt) \cdot \omega \text{, Вт}, \quad (2)$$

где $\boldsymbol{I_\partial}$ – действительный момент инерции движущихся масс двигателя, кг·м^2;

($\boldsymbol{d\omega/dt}$) – угловое ускорение коленчатого вала, рад/с^2;

ω – угловая скорость коленчатого вала, рад/с.

Для определения действительного момента инерции двигателя используют устройство «маховик с известным моментом инерции», соединяющееся с трактором через ВОМ. Исследуемый двигатель последовательно разгоняют без «маховика» и с «маховиком», определяют соответствующие значения углового ускорения ко-ленчатого вала на номинальном режиме. Затем определяют действительный приведенный момент инерции двигателя:

$$I_\partial = I_м^{пр} \cdot \frac{(d\omega / dt)_2}{(d\omega / dt)_1 - (d\omega / dt)_2} \text{, кг·м}^2, \quad (3)$$

где $\boldsymbol{I_м^{пр}}$ – момент инерции дополнительного «маховика», приведенный к двигателю, кг·м^2;

$(d\omega/dt)_1$, $(d\omega/dt)_2$ – соответственно угловые ускорения коленчатого вала на номинальном режиме при разгоне двигателя без маховика и с маховиком, рад/с^2.

Для дизелей с ГТН значения мощности корректируют с учетом давления наддува:

$$N_e = \alpha \cdot N_{бн}{}^2 + \beta \cdot N_{бн} \cdot p_н + c \text{, Вт,} \quad (4)$$

где α – коэффициент при квадратичном члене уравнения;

$N_{бн}$ – мощность двигателя с неработающим турбонаддувом, Вт;

β – коэффициент взаимосвязи;

$p_н$ – давление турбонаддува, Па;

c – свободный член уравнения.

Запись параметров движения коленчатого вала осуществляют при полной загрузке двигателя с одновременной фиксацией изменения давления наддува $p_н = f(n)$ на соответствующих интервалах. Полная загрузка двигателя обеспечивается разгоном трактора на высшей передаче. Совмещая зависимость $p_н = f(n)$ с зависимостью $N_{бн} = f(n)$, полученной в режиме свободного разгона, определяют зависимость $N_e = f(n)$.

Для топливо-экономических показателей исследуемого двигателя получают зависимость часового расхода $G_m = f(n)$ топливного насоса высокого давления (ТНВД) двигателя на стенде для проверки и регулировки топливного оборудования. Зависимость часового расхода от частоты вращения коленчатого вала двигателя определяют по формуле:

$$G_д = \frac{60 \cdot V \cdot n_i \cdot \rho}{10^6 \cdot i_д} \text{, кг/ч,} \quad (5)$$

где V – объем поданного топлива всеми секциями ТНВД за 1000 циклов, см^3;

$n_н$ – частота вращения вала ТНВД, об/мин;

ρ – плотность топлива, кг/м^3;

$i_ц$ – количество циклов ($i_ц$=1000).

Совмещая зависимость $Gm = f(n)$ с полученной ранее закономерностью $N_e = f(n)$ в одном диапазоне частот вращения коленчатого вала на равных ин-тервалах, находим значения удельного расхода топлива при соответствующих частотах вращения коленчатого вала двигателя по формуле:

$$g_e = \frac{G_д \cdot 1000}{N_e} \text{, г·ч/Вт .} \quad (6)$$

Определив удельный расход топлива на необходимом диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя, получаем зависимость $g_e = f(n)$.

По результатам разгона двигателя без «маховика» и с «маховиком», а также разгона трактора на высшей передаче строится его регуляторная характеристика $(N_e, M_к, G_m, g_e = f(n))$.

2. Определение динамических качеств и топливной экономичности трак-тора заключается в следующем [8]. При движении трактора за счет снижения подачи топлива достигают частоты вращения коленчатого вала, соответствующей минимально-устойчивой скорости равномерного прямолинейного движения. Мгновенно увеличивают подачу топлива до максимальной. При разгоне трактора измеряют значения угловых скоростей и ускорений коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса на заданной передачи и соответствующем почвенном фоне. Дополнительно в тех же условиях измеряют значения угловых ускорений путеизмерительного колеса при разгоне трактора с дополнительной (эталонной) массой. Из уравнения движения разгона трактора без нагрузки определяется тяговое (крюковое) усилие, которое может развить трактор:

$$P_{кр} = M_m \cdot (dV/dt)_{xx}, \text{ Н}, \quad (7)$$

где $\boldsymbol{M_m}$ – приведенная масса трактора, кг;

$\boldsymbol{(dV/dt)xx}$ – ускорение трактора при разгоне без нагрузки, м/с^2.

Из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой определяют приведенную массу трактора:

$$M_m = \frac{M_{эт} \cdot ((dV/dt)_{эт} + g \cdot f}{(dV/dt)_{xx} - (dV/dt)_{эт}}, \text{ кг}, \quad (8)$$

где $\boldsymbol{(dV/dt)_{эт}}$ – ускорение трактора при разгоне с эталонной массой, м/с^2.

$\boldsymbol{g}$ – ускорение свободного падения, м/с^2;

f – коэффициент перекатывания трактора.

Ускорение трактора при его разгоне без нагрузки, а также догруженного эталонной массой связано с угловым ускорением путеизмерительного колеса следующими зависимостями:

$$(dV/dt)_{xx} = (d\omega/dt)_{xx} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (9)$$

$$(dV/dt)_{эт} = (d\omega/dt)_{эт} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (10)$$

где $\boldsymbol{(d\omega/dt)xx}$, $\boldsymbol{(d\omega/dt)_{эт}}$ – соответственно угловое ускорение путеизмерительного колеса при разгоне трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой, рад/с^2;

$\boldsymbol{r_{пк}}$ – радиус путеизмерительного колеса, м.

Скорость трактора на заданной передачи определяется из выражения:

$$(dV/dt)_{эт} = (d\omega/dt)_{эт} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}, \quad (11)$$

где $\omega_{пк}$ – угловая скорость путеизмерительного колеса, рад/с.

Буксование трактора определяют по формуле:

$$\delta = \frac{\omega_{вк} - \omega_{пк}}{\omega_{вк}} \cdot 100\%, \text{ \%}, \quad (12)$$

где $\omega_{вк}$ – угловая скорость ведущего колеса (звездочки), рад/с.

Угловая скорость ведущего колеса связана с угловой скоростью коленчатого вала двигателя трактора зависимостью:

$$\omega_{вк} = \frac{\omega_{кв}}{i_{тр}}, \text{ рад/с}, \quad (13)$$

где $\omega_{кв}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя трактора, рад/с;

$\boldsymbol{i_{тр}}$ – общее передаточное число трансмиссии на заданной передачи.

Тяговая мощность на заданной передаче вычисляется:

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot V, \text{ Вт}. \quad (14)$$

Определение топливно-экономических показателей осуществляется посредством фиксации цикловой подачи топлива топливным насосом в режиме максимальной подачи на стенде для проверки и регулировки топливного оборудования по зависимостям (5) и (6). По результатам разгона трактора без нагрузки и с дополнительной (эта-лонной) массой строится его тяговая характеристика на различных передачах на данном почвенном фоне ($\boldsymbol{N_{кр}}$, $\boldsymbol{V}$, $\boldsymbol{G_m}$, $\boldsymbol{g_{кр} = f\ (P_{кр})}$).

3. Определение тягового сопротивления рабочих машин заключается в следующем [9, 10]. При движении трактора без нагрузки за счет снижения по-дачи топлива достигают частоты вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту. Мгновенно увеличивают подачу топлива до максимальной. При достижении номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя во время разгона трактора измеряют значение углового ускорения путеизмерительного колеса. Аналогично измеряют значение углового ускорения путеизмерительного колеса при разгоне трактора с дополнительной (эталонной) массой и рабочей машиной. Из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с рабочей машиной определяют сопротивление рабочей машины:

$$P_c = M_m \cdot (dV/dt)_{xx} - M_m \cdot (dV/dt)_{раб} - M_{схм} \cdot (dV/, \text{Н}, \quad (15)$$

где $M_{схм}$ – приведенная масса рабочих машин, кг;

$(dV/dt)_{раб}$ – ускорение трактора при разгоне с рабочей машиной, м/с^2.

Приведенную массу трактора определяют из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с эталонной массой по формуле (8).

Ускорение трактора при его разгоне с рабочей машиной определяют аналогично зависимостям (9) и (10):

$$(dV/dt)_{раб} = (d\omega/dt)_{раб} \cdot r_{пк}, \text{ м/с}^2, \quad (16)$$

где $(d\omega/dt)_{раб}$ – угловое ускорение путеизмерительного колеса при разгоне трактора с сельскохозяйственной машиной, рад/с^2.

По результатам разгона трактора с рабочей машиной, а также без нагрузки и с эталонной массой определяют сопротивление рабочей машины.

Вывод. Данные методы позволяют получить регуляторную характеристику двигателя, тяговую характеристику трактора, а также определить тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины в эксплуатационных условиях без применения дорогостоящего оборудования, существенных затрат средств и времени на подготовку и проведение.

Библиографический список

1. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N5. С. 10-13.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ. 2010. С. 47-58.

3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов Международной научно-технической конференции Ч. 1. М.: ВИМ. 2012. С. 31-44.

4. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1988. 70 с.

5. ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1981. 17 с.

6. ГОСТ 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической

оценки. М.: Стандартинформ. 2008. 8 с.

7. Арженовский А.Г., Асатурян С.В. Определение энергетических и топлив-но-экономических показателей тракторного двигателя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. N7. С. 25-26.

8. Щетинин Н.В., Казаков Д.В., Арженовский А.Г., Мальцев Д.О. К определению энергетических показателей тракторов в эксплуатационных условиях на переходном режиме // Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК: Сборник научных трудов по материалам 4-й Российской научно-практической конференции. Ставрополь. 2007. С. 194−197.

9. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичиланов И.И., Черемисин Ю.М., Даглдиян А.А., Должиков В.В. Способ определения сопротивления рабочих машин // Патент РФ №2612950. 2017. Бюл. N8.

10. Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичиланов И.И., Черемисин Ю.М., Даглдиян А.А., Должиков В.В. Способ определения сопротивления рабочих машин // Патент РФ №2620983. 2017. Бюл. N16.

References

1. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2015. N5. 10-13.

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Management and information support by innovative technological processes in plant industry. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM. 2010. 47-58.

3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov Mezh duna rodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM. 2012. 31-44.

4. GOST 18509-88. Tractor and combine diesel. Methods of bench test. Moscow: Izd-vo standartov. 1988. 70.

5. GOST 7057-81. Agricultural tractors. Methods of test. M.: Izd-vo standartov, 1981. 17 p. (In Russian).

6. GOST 52777-2007. Agricultural machinery. Methods of power assessment. Moscow: Standartinform. 2008. 8.

7. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V. Determination of the power and fuel-economic rates of a tractor engine. Mekhanizaciya i ehlektrifikaciya sel'skogo hozya-jstva. 2010. N7. 25-26.

8. Shchetinin N.V., Kazakov D.V., Arzhenovskij A.G., Mal'cev D.O. To determination of the power characteristics of the tractors in service conditions at the transition mode. Fiziko-tekhnicheskie problemy sozdaniya novyh tekhnologij v APK: Sbornik nauchnyh trudov po materialam 4-j Rossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Stavropol'. 2007. 194-197.

9. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., CHichilanov I.I., CHeremisin YU.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. The method of determination of the working machines resistance. Patent RF No 2612950. 2017. Byul. N8.

10. Arzhenovskij A.G., Asaturyan S.V., CHichilanov I.I., CHeremisin YU.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. The method of determination of the working machines resistance. Patent RF No 2620983. 2017. Byul. N16.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕФТЕСКЛАДОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ АВАРИЙ

Максим Юрьевич Левин[1], кандидат технических наук, e-mail: lmu@list.ru;
Станислав Александрович Нагорнов[1], доктор технических наук, профессор;
Екатерина Юрьевна Левина[2], кандидат технических наук, доцент
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация;
[2]Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В практической деятельности нефтескладов эксплуатационные потери топлива могут приводить к аварийным потерям, поэтому обеспечение сельских нефтескладов системой защиты от аварий является своевременной и весьма актуальной задачей. (Цель исследования) Проанализировать работу цифровой интеллектуальной системы управления, которая позволит заблаговременно информировать оператора о необходимости проведения ремонта конкретного резервуара и тем самым предотвращать потери топлива. (Материалы и методы) Предлагается прогнозировать вероятность поломки дыхательного клапана, протечки топлива из-за коррозии стенок резервуара, возгорания топлива при хранении при помощи технологий Big Data и нейронных сетей. (Результаты и обсуждение) Разработаны алгоритм и программа обеспечения защиты от аварий резервуарного парка нефтехозяйств с применением цифрового интеллектуального управления. Защита от аварий происходит за счет формирования цифровой интеллектуальной системы слежения за техническим состоянием резервуарного парка. Подключение обученной нейронной сети на прогнозирование времени ремонтов узлов резервуара или его оборудования к единому информационному пространству, позволяет выделить проблемные резервуары. Выводы. В результате применения программы стало возможным объединение данных о нефтехозяйстве в единое информационное пространство, и осуществление управления автоматизированной системой предотвращения аварий на нефтескладе с помощью нейронных сетей и Big Data.*

Ключевые слова: *система автоматизации, резервуар, аварийное событие, интеллектуальная система.*

Для цитирования: *Левин М.Ю., Левина Е. Ю.,Применение цифрового интеллектуального управления нефтескладом для защиты резервуаров от аварий //Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 53-00.*

THE USE OF DIGITAL INTELLIGENT OIL STORAGE MANAGEMENT TO PROTECT TANKS FROM ACCIDENTS

Maxim Y. Levin[1], Ph.D.(Eng.), e-mail: lmu@list.ru;
Stanislav A. Nagornov[1], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Catherine Y. Levina[2], Ph.D.(Eng.), associate professor
[1]All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation
[2]Moscow State Technical University named after NE Bauman, Moscow, Russian Federation

Abstract. *In practical activities of oil storage, operational fuel losses can lead to accidental losses, therefore, providing rural oil storage with a system to protect against accidents is a timely and highly relevant task. (Purpose of research) Analyze the operation of the digital intelligent control system, which will allow informing the operator in advance of the need to repair a specific tank and thereby prevent fuel loss. (Materials and methods) It is proposed to predict the likelihood of respiratory valve failure, fuel leakage due to corrosion of the tank walls, fuel ignition during storage using Big Data technologies and neural networks. (Results and discussion) An algorithm and a program to ensure protection against failures of a tank farm of petroleum farms using digital intelligent control have been developed. Protection against accidents occurs due to the formation of a digital intelligent tracking system for the technical condition of the tank farm. The system allows you to perform a variety of control actions, such as sending messages about an emergency event, robotic activation of tank protection systems and others. Connecting a trained neural network to predict the time of repairs of tank nodes or its equipment to a single information space, allows you to select problem tanks. (Conclusions). As a result of the application of the program, it became possible to integrate data on the petroleum industry into a single information space, and implement the management of an automated system for preventing accidents at oil storage using neural networks and Big Data.*

Keywords: *automation system, reservoir, emergency event, intelligent system.*

For citation: *Levin M. Yu., Levina E. Yu. Application of digital intelligent control of the oil reservoir to protect tanks from accidents. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 53-00. (In Russian).*

Введение. Решение проблемы дефицита продуктов питания возлагается на главную отрасль агропромышленного комплекса – растениеводство, с задачей значительного увеличения объемов производства продукции [1]. Высокая механизация труда является залогом увеличения объемов и улучшения качества производимой сельхозпродукции. Поэтому для осуществления поставленных задач потребуется резкое увеличение количества мобильной сельскохозяйственной энергетики, так как основой повышения производительности труда в агропромышленном комплексе может быть только комплексная механизация, автоматизация и роботизация сельскохозяйственного производства с внедрением инновационных энергоресурсосберегающих и информационных технологий, машинно-тракторных агрегатов нового поколения.

С увеличением объема и плотности механизированных работ, повышением мощности и изменением состава машинно-тракторного парка неизбежно возрастет потребление энергоресурсов. Состояние сельского хозяйства России характеризуется устойчивой тенденцией к экспоненциальному увеличению затрат невосполнимой энергии на каждую дополнительную единицу продукции: рост объема сельскохозяйственной продукции на 1% требует увеличения топливно-энергетических затрат примерно на 2,5% [2].

Несмотря на всевозрастающий интерес к возобновляемым энергетическим ресурсам до середины текущего столетия в общем объеме потребления и производства топливно-энергетических ресурсов доминирующее положение сохранится за нефтью. В последние годы АПК России потребляет около 1 млн т автомобильных бензинов и свыше 4 млн т дизельных топлив. По экспертным оценкам, к середине XXI века потребление моторного топли-

ва в сельском хозяйстве должно увеличиться в 4 раза что поднимает вопрос об удовлетворении растущей потребности сельскохозяйственного производства качественным моторным топливом [1],. При этом становится все заметнее рост цен на моторное топливо, который отрицательно сказывается на экономике сельскохозяйственного производства, являющейся одним из основных потребителей светлых нефтепродуктов.

При существующем техническом состоянии сельскохозяйственного резервуарного парка потери моторного топлива от испарения более чем в 3 раза превышают нормы естественной убыли. Из-за этого в местах хранения топливно-смазочных материалов показатели предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ превышают нормативы более чем в 5 раз. Поэтому проблема борьбы с потерями моторного топлива от испарения носит актуальный, приоритетный характер и представляет собой одну из важнейших народно-хозяйственных задач государственного значения, поскольку полное предотвращение потерь от испарения равнозначно увеличению производства топлив до 20%.

Таким образом, в ближайшие годы в сельскохозяйственном производстве следует ожидать неуклонного возрастания использования техники (тракторов, универсальных энергетических средств, комбайнов и автомобилей), обусловливающего резкое увеличение потребления моторного топлива. Одной из основных задач нефтесклада становится обеспечение потребности машинно-тракторного парка качественным моторным топливом в нужном количестве. Технологические операции транспортировки, хранения, приема и выдачи нефтепродуктов потребителям сопровождаются качественными и количественными (нормированными и сверхнормативными) потерями моторного топлива. Среди них основной экономический и экологический ущерб наносят как естественные (нормированные) потери (или естественная убыль), возникающие вследствие испарения нефтяных углеводородов, так и аварийные потери, к которым относятся потери при утрате герметичности резервуаров, неисправности дыхательного клапана и другие. В практической деятельности нефтескладов эксплуатационные потери топлива могут приводить к аварийным потерям. Например, подтекание или испарение топлива создает постоянную угрозу возникновения пожара. Аварии на нефтескладе приводят не только к экономическому ущербу сельскохозяйственного производства, но и к загрязнению окружающей среды. Существующие методы контроля аварийных потерь и их предупреждение далеки от требований сегодняшнего дня.

Пассивные средства защиты в виде песка, огнетушителей и т. д. весьма эффективны при непосредственном участии человека в борьбе с аварией, однако более выгодным является предупреждение наступления самой аварии. Ввиду особенностей расположения сельскохозяйственных резервуаров и организации нефтехозяйств, отсутствия квалифицированных специалистов, невозможно обеспечить должный контроль за каждым объектом хранения топлива. Поэтому обеспечение сельских нефтескладов системой защиты от аварий является своевременной и весьма актуальной задачей.

Цель исследования – проанализировать работу цифровой интеллектуальной системы управления, которая позволит заблаговременно информировать оператора о необходимости проведения ремонта конкретного резервуара и тем самым предотвращать потери топлива.

Материалы и методы. Использование цифровой интеллектуальной си-

стемы слежения за техническим состоянием резервуарного парка обеспечивает системой защиты от аварий сельские нефтесклады. Система объединяет информацию обо всех нефтескладах и резервуарах хозяйства в единую базу; хранит данные о физических параметрах топлива в резервуаре, таких как давление паровоздушной смеси, температура топлива, соотношение объемов паровоздушной смеси и моторного топлива, уровень заполнения резервуара и др. Предусмотрены автоматизация обнаружения потерь топлива и роботизированное включение систем защиты топлива от обводнения или испарения. С помощью технологий Big Data и нейронных сетей предлагается прогнозировать вероятность поломки дыхательного клапана, протечки топлива из-за коррозии стенок резервуара, возгорания топлива при хранении.

Разработана методическая база, включающая алгоритмы и программу слежения за датчиками контроля показателей, для автоматизированного управления резервуарами горизонтального типа при хранении светлых нефтепродуктов и управления системой защиты от обводнения и испарения топлива [2-9].

Программа считывает показатели технологических параметров с датчиков давления, температуры, объема всего резервуарного парка (рис. 1) с возможностью просмотра тренда показателей и паспортных данных отдельного резервуара (рис. 1, 2).

Рис. 1. Экран программы просмотра технологических параметров с датчиков

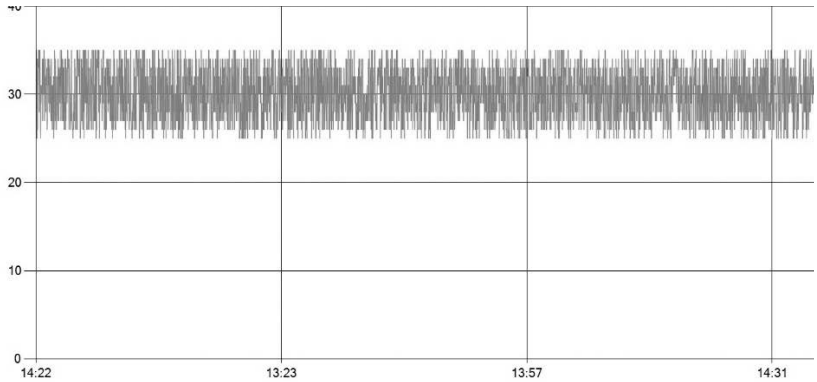


Рис. 2. Экран программы просмотра тренда показателей и паспортных данных отдельного резервуара

Эти показатели сохраняются в базе данных, которая является источником информации для оперативной оценки и прогноза наступления риска аварии резервуара с применением нейронной сети [4-6].

При объединении данных о нефтехозяйстве в единое информационное пространство и управлении автоматизированной системой нефтесклада с помощью нейронных сетей и Big Data возникла проблема хранения данных как входной информации для обучения интеллектуальной системы, так и информации, которая появляется на выходе работы системы для корректировки работы искусственного интеллекта.

Подход, основанный на применении баз данных, где определение данных отделено от приложений, очень похож на подход, используемый при разработке современного программного обеспечения, когда наряду с внутренним определением объекта существует его внешнее определение. Пользователи объекта видят только его внешнее определение и не задумываются над тем, как он определяется и функционирует. Одно из преимуществ такого подхода, а именно абстрагирование данных, заключается в том, что можно изменить внутреннее определение объекта без каких-либо последствий для его пользователей, при условии, что внешнее определение объекта остается неизменным. Аналогичным образом в подходе с использованием баз данных структура данных отделена от приложений и хранится в базе данных. Добавление новых структур данных или изменение существующих никак не влияет на приложения при условии, что они не зависят непосредственно от изменяемых компонентов. Например, добавление нового поля в запись или создание нового файла базы данных никак не повлияет на работу имеющихся приложений. Однако удаление поля из используемого приложением файла повлияет на это приложение, его также потребуется соответствующим образом модифицировать [3].

В системе автоматизированного проектирования Sybase PowerDesigner 10 была разработана модель данных (рис. 3).

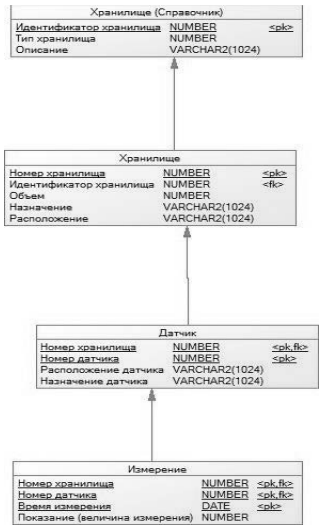


Рис. 3. Модель базы данных

В базе данных хранится информация по резервуарам (таблица «Хранилище»). К каждому резервуару подключены датчики, описание которых приведено в таблице «Датчик». Тренды измерений каждого датчика хра-

нятся в таблице «Измерение». Для ускорения доступа построен индекс по всем атрибутам. Индексирование данных по атрибутам необходимо для ускорения соединения таблиц. При подключении нескольких резервуаров к информационной системе увеличится скорость прироста данных и их объем. Поэтому для обработки данных необходимо рассматривать Big Data как технологии обработки большого количества данных, следует отметить, что эта инновация включает в себя более сложные инструменты обработки информации, имеющие потенциал к более эффективному управлению и анализу больших информационных потоков. Таким образом, организации, использующие технологии Big Data, имеют конкурентоспособное преимущество перед компаниями-аналогами, ориентированными на традиционные способы обработки информации, а также потенциал к динамичному развитию и совершенствованию аналитических процессов.

Результаты и обсуждение. Сформулируем алгоритм работы программы по предупреждению аварии на резервуаре. Условно разделим алгоритм работы на 4 этапа: первоначальная инициализация исходных данных нефтехозяйства; чтение и запись параметров резервуара; проверка на вероятность возникновения аварийной ситуации; управляющее воздействие.

Первоначальная инициализация исходных данных нефтехозяйства включает в себя формирование единого информационного пространства с данными резервуаров, хранимом топливе: паспортные данные резервуара (геометрические размеры, объем), срок службы резервуара, паспортные данные оборудования защиты (давления работы дыхательного клапана), физико-химические параметры топлива (плотность, вид топлива, объем, температура вспышки). Также в программе устанавливаются показатели уровня вероятности до наступления критического события. Рекомендуется устанавливать порог с запасом в 10-20%, чтобы иметь запас по времени для ликвидации события. Интервал времени записи данных с датчиков резервуара можно также варьировать и проводить запись показателей дискретно с интервалом 30-60 минут. Запись данных онлайн приведет лишь к увеличению объема хранилища и не будет информативной. Чтение и запись параметров резервуара. Программа производит онлайн опрос датчиков, установленных на резервуаре (давление газового пространства, температура газового пространства, уровень топлива и др.) и хранит данные в оперативной памяти. При наступлении интервала времени для записи параметров – программа переносит данные с датчиков в базу данных с указанием времени фиксации и резервуара, с которого данные были получены. Оперативная память при этом очищается.

Проверка на вероятность возникновения аварийной ситуации производится онлайн в оперативной памяти программы и включает идентификацию ситуаций по утечки топлива, поломке дыхательного клапана, возгорания топлива. Также идентифицируются ситуации при поломке датчиков, отсутствии сигналов. Проверка утечки топлива достигается реализацией алгоритма определения дельты крайних измерений уровня топлива L с учетом коэффициента температурного расширения топлива k. Наступление события утечки топлива считается при отрицательной дельте.

Идентификация поломки дыхательного клапана происходит при превышении или снижении давления газового пространства резервуара над давлением его срабатывания. Это означает, что дыхательный клапан не открывается, что может привести к разрушению резервуара. Если давление в ре-

зервуаре не изменяется, а температура увеличивается, значит, произошло разрушение дыхательного клапана и интенсифицируется процесс испарения топлива. Повышение температуры в резервуаре до уровня вероятности самовозгорания топлива идентифицирует событие самовозгорания топлива. Управляющее воздействие программы заключается в информировании оператора об идентифицированном негативном событии и/или включении устройств предотвращения негативных событий. Благодаря развитию мобильного интернета и приложений для смартфонов – мобильная версия программы для Android или iOS позволяет получать информацию о состоянии нефтесклада удаленно на смартфон, отправлять сообщения SMS или на электронную почту. Таким образом, оператор склада или руководитель может удаленно контролировать состояние нефтесклада, запасов топлива, получать сигналы о проблемах или утечках топлива и своевременно реагировать на них. Применение нейронной сети на полученных данных из единого информационного пространства нефтесклада позволит определить время ремонта резервуара и спрогнозировать остаточный ресурс его работы по условиям эксплуатации. Для этого необходимо обучить нейронные сети с различными архитектурами, обеспечивающими прогнозирования показателя ремонта оборудования и узлов резервуара. На вход нейронной сети необходимо подавать показатели эксплуатации резервуара и вероятностную характеристику наступления события поломки оборудования или узла резервуара. После обучения нейронная сеть подключается к базе данных нефтехозяйства и выполняет оперативный или долгосрочный прогноз вероятности необходимого ремонта для каждого резервуара.

Выводы. Разработан алгоритм работы программы по предупреждению аварии на резервуаре, который позволяет идентифицировать и предупредить такие негативные события, как утечка топлива, поломка дыхательного клапана, самовозгорание топлива. В результате применения программы стало возможным объединение данных о нефтехозяйстве в единое информационное пространство и осуществление управления автоматизированной системой нефтесклада с помощью нейронных сетей и Big Data.

Библиографический список

1. *Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: Высшая школа экономики. 2017. 138 с.*
2. *Сафиуллин Р.Н. Методология повышения эффективности функционирования автотракторной техники на основе оценки и реализации технологического уровня применяемого топлива: автореф. дис. … доктор техн. наук: 05.20.03. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. 2015. 37 с.*
3. *Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Применение нейронных сетей для прогнозирования показателей качества биодизеля // Приволжский научный вестник. 2012. N1. С. 24-27.*
4. *Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Влияние архитектуры нейронных сетей на результаты прогноза показателей качества биодизеля // Естественные и технические науки. 2012. N1. С. 387-389.*
5. *Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Выбор архитектуры нейронной сети для прогнозирования показателей качества биодизеля // Математика. Механика. Информатика. 2012. N1. С. 23-27.*
6. *Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Управление рисками при хранении светлых нефтепродуктов с применением нейронных сетей // Наука в центральной России. 2017. N1 (25). С. 79-86.*

7. Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Формализация алгоритма проектирования архитектуры нейронных сетей на практике // Наука в центральной России. 2016. N1 (19). С. 81-87.

8. Левин М.Ю., Нагорнов С.А. Модель рассеяния неоднородного потока атмосферного воздуха для расчета зоны испарения топлива при его хранении // Наука в центральной России. 2017. N1 (25). С. 86-90.

9. Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. Концепция виртуально облачной системы автоматизации резервуарного парка // Наука в центральной России. 2018. N5 (35). С. 82-88.

References

1. Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. Moscow: National Research University Higher School of Economics. 2017. 138.

2. Safiullin R.N. Methodology of improving the efficiency of autotractor technology based on the assessment and implementation of the technological level of the fuel used: author. dis.... doctor tech. Sciences: 05.20.03. SPb.: St. Petersburg State Agrarian University. 2015. 37.

3. Levin M.Yu., Nagornov S.A. The use of neural networks to predict the quality of biodiesel // Volga Scientific Herald. 2012. N1. C. 24-27.

4. Levin M.Yu,. Nagornov S.A. The influence of neural network architecture on the results of the prediction of biodiesel quality indicators // Natural and Technical Sciences. 2012. N1. C. 387-389.

5. Levin M.Yu., Nagornov S.A. The choice of neural network architecture for predicting the quality indicators of biodiesel // Maths. Mechanics. Computer Science 2012. N1.C. 23-27.

6. Levin M.Yu., Nagornov S.A. Risk management during storage of light oil products using neural networks // Science in Central Russia. 2017. N1 (25). 79-86.

7. Levin M.Yu., Nagornov S.A. Formalization of the algorithm for designing the architecture of neural networks in practice // Science in Central Russia. 2016. N1 (19). C. 81-87.

8. Levin M.Yu., Nagornov S.A. Model of dispersion of a non-uniform stream of atmospheric air for calculation of a zone of evaporation of fuel at its storage // Science in Central Russia. 2017. N1 (25). 86-90.

9. Levin M.Yu., Nagornov S.A., Levina E.Yu. The concept of a virtual cloud automation system of a tank farm // Science in Central Russia. 2018. N5 (35). 82-88.

УДК 631.158:658.531

ПОТРЕБНОСТЬ В НОРМАТИВАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАТРАТ СРЕДСТВ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Зоя Николаевна Мишина, старший научный сотрудник,
e-mail: zoy4538@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Работоспособность сельскохозяйственной техники требует создания и четкого функционирования материально-технической базы обслуживания и ремонта машин АПК. (Цель исследования) Определение динамики изменения качества сельскохозяйственных машин на примере тракторов по показателю наработки на отказ и расчет по ее показаниям нормативов трудозатрат на ремонт. (Материалы и методы) Выполнили анализ состояния техники, ремонтно-обслуживающей базы в сельском хозяйстве России, показателей затрат на ремонт сельскохозяйственных машин в 2010-2017 гг. и обосновали необходимость технического сервиса. Приняли при разработке нормативов трудозатрат на ремонт тракторов утвержденные ранее нормативы (1988-1993 гг.) за базовые. Определили динамику изменения надежности, в соответствии с которой рассчитывалась трудоемкость ремонта для других временных периодов, на основе данных МИС о надежности тракторов по показателю «Наработка на сложный отказ». (Результаты и обсуждение) Выявили в ходе исследования, что для планирования объемов трудозатрат на ремонт тракторов на основе динамики качества необходимо рассчитать трудоемкость ремонта по четырем временным периодам, которые могут быть применены для расчета трудоемкости всего среднестатистического массива парка тракторов каждого класса. Определили среднегодовой индекс повышения качества тракторов. Предложили для импортной сельскохозяйственной техники в планировании ремонта использовать повышающий коэффициент надежности относительно отечественной сельскохозяйственной техники. (Выводы) Для улучшения показателей сельскохозяйственных предприятий необходимо использовать нормативы затрат средств на ремонт техники, обеспечивающие их сокращение за счет использования технологии восстановления запасных частей. Нормативы, рассчитанные с использованием понижающего коэффициента будут стимулировать ремонтные предприятия и хозяйства на развитие технологии восстановления деталей, что может обеспечить общую годовую экономию средств сельхозтоваропроизводителями на ремонт техники.*

Ключевые слова: *коэффициент охвата ремонтом, трудоемкость работы, нормативы.*

Для цитирования: *Мишина З.Н. Потребность в нормативах планирования затрат средств на техническое обслуживание и ремонт сельскохозяйственной техники //Технический сервис машин. 2019. М.1. С. 61-67.*

THE NEED FOR STANDARDS FOR PLANNING THE COST OF MAINTENANCE AND REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY

Zoya N. Mishina, senior researcher, e-mail: zoy4538@mail.ru
Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The efficiency of agricultural machinery requires the creation and clear functioning of the material and technical base for the maintenance and repair of agricultural machinery. (Purpose of research) Determining the dynamics of changes in the quality of agricultural machines on the example of tractors in terms of time between failures and the calculation of the standards of labor costs for repairs. (Materials and methods) The analysis of the state of the machinery, repair and maintenance base in agriculture of Russia, indicators of the cost of repairing agricultural machines in 2010-2017 was carried out and justified the need for technical service. In the development of labor standards for the repair of tractors, the previously approved standards (1988-1993) were adopted as basic standards. Determined the dynamics of change in reliability, in accordance with which the complexity of repairs for other time periods was calculated, based on the IIA data on the reliability of tractors in terms of the "Time between difficult failure" indicator. (Results and discussion) It was revealed in the course of the study that to plan the volume of labor costs for repairing tractors based on the dynamics of quality, it is necessary to calculate the labor intensity of repairs over four time periods that can be used to calculate the labor intensity of the whole average tractor park of each class. We determined the average annual index of improving the quality of tractors. They proposed to use for the imported agricultural equipment in the planning of the repair the increasing reliability coefficient relative to the domestic agricultural equipment. (Conclusions) To improve the performance of agricultural enterprises, it is proposed to use the cost standards for the repair of equipment, ensuring their reduction through the organization of the restoration of spare parts. Standards calculated using a reduction factor will stimulate repair enterprises and farms to develop parts recovery technology, which can provide a total annual savings of agricultural producers to repair equipment.*
Keywords: *the rate of participation in repair, the complexity of the work, standards.*

For citation: *Mishina Z.N. The need for standards for planning the cost of maintenance and repair of agricultural machinery. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 61-67. (In Russian).*

Введение. Обеспечение высокой работоспособности сельскохозяйственной техники требует создания и четкого функционирования материально-технической базы АПК, в том числе обслуживания и ремонта машин. В процессе реформирования экономики России наибольшим отрицательным преобразованиям в последние годы подверглась именно ремонтно-обслуживающая база, которая не позволяет качественно и в срок проводить ремонт техники [1-3]. Анализ технологического состояния и тенденций развития ремонта техники показал, что восстановление ее работоспособности (ремонт) по-прежнему является обязательной технологической составляющей жизненного цикла машин, при этом главные критерии необходимости ремонта следующие:

- невозможность производства в ближайшее время безызносных материалов и равнопрочных конструкционных элементов и сборочных единиц техники;
- отсутствие необходимых средств для переоснащения парка машин только за счет новой техники;

- большой потенциал ресурсосбережения за счет восстановления изношенных деталей, высокоресурсного ремонта дорогостоящих узлов и агрегатов; расширения рынка техники за счет ее вторичных ресурсов [4, 5].

Цель исследования – определение динамики изменения качества сельскохозяйственных машин на примере тракторов по показателю наработки на отказ и расчет по ее показаниям нормативов трудозатрат на ремонт. Для планирования развития инфраструктуры технического сервиса необходимо учитывать нормативы трудоемкости ремонта, коэффициентов охвата ремонтом, затрат средств на ремонт техники и другие показатели. Для их разработки целесообразно определить динамику надежности машин в 2010-2017 гг.; имея базовые нормативы (в какой-либо период), рассчитать их (в соответствии с показателями надежности) для других временных периодов [6].

Таблица 1

Показатели безотказности отечественных и зарубежных тракторов мощностью 270-435 л.с. по результатам испытаний на МИС и наблюдений в реальной эксплуатации в период 2010-2017 гг.

Тракторы	Исходные данные	Контрольная наработка, мото-ч	Число тракторов, общее/ расчетное, проработавших контрольную наработку, ед.	Среднее число отказов, по группам сложности II/ III, ед.	Средняя наработка на отказы II и III групп сложности, мото-ч
Отечественный (4К4а)					
АТМ-5280	Испытания	1000	1/ 0,94	2/ 0	470/ –
	Наблюдения	1000	6/ 2,6	2,4/ 0	–/ 650
Зарубежные аналоги (4К4а)					
Fendt 930 Vario	Испытания	1000	1/ 1	0/ 0	1750/ –
	Наблюдения	1000	5/ 5	1/ 2	–/ (835/ 1665)
		2000	5/ 5	(2,2/ 1,4)/ (0,2/ 0)	–/ (835/ 1430)
		3000	5/ 5	(3,6/ 2,2)/ (0,2/ 0)	–/ (790/ 1365)
		4000	5/ 4,8	(5,1/ 3,2)/ (0,4/ 0,2)	–/ (725/ 1175)
John Deere 8430	Наблюдения	1000	24/ 23,5	0,09/ 0	–/ 11 100
		2000	24/ 20,6	0,39/ 0	–/ 5130
		3000	24/ 13,5	0,61/ 0,07	–/ 4400
		4000	24/ 5,5	0,61/ 0,07	–/ 5880
New Holland T8040	Наблюдения	1000	11/ 8,8	1,2/ 0	–/ 835
Отечественные (4К4б')					
К-744Р2/Р3	Испытания	1000	5/ 5	2,4/ 0	–/ 415
	Наблюдения	1000	48/ 28,4	3,6/ 0,2	–/ 265
Зарубежные аналоги (4К4б')					
John Deere 9420	Испытания	1000	1/ 1	0/ 0	1482/ –
	Наблюдения	1000	2/ 2	0/ 0	–/ 1880
		2000	2/ 1,9	0/ 0	–/ 1880
John Deere 9430	Наблюдения	1000	2/ 2	0,5/ 0	–/ 2000
		2000	2/ 2	0,5/ 1	–/ 1333
		3000	2/ 1,97	0,5/ 1	–/ 1974
New Holland T9040	Наблюдения	1000	3/ 3	1/ 0	–/ 1000

Материалы и методы. В таблице 1 представлена номенклатура наиболее распространенных колесных тракторов в классической полноприводной 4К4а компоновочной схеме, а также с шарнирно-сочлененной рамой схемы 4К4б Эти компоновочные схемы характерны для тракторов высокой мощности в диапазоне от 270 до 435 л.с., разработанных в России и за рубежом, получивших рас-

пространение в агропромышленном производстве и прошедших контрольные испытания на МИС и в хозяйствах АПК [7-9]. Анализ результатов испытаний и периодических разовых обследований показал, что наработка на сложный отказ II и III групп сложности отечественного трактора АТМ-5280 (4К4а) составила соответственно 470 и 650 мото-часов (то есть эти наработки являются довольно близкими), а трактор К-744Р2/Р3 (4К4б) – соответственно 415 и 265 мото-часов. У зарубежных тракторов – 1480-5500 мото-часов. Рассмотрим показатели качества техники, соответствующие протоколам испытаний на МИС за 2012-2017 гг. На рисунке 1 представлены сравнительные показатели надежности импортной и российской сельскохозяйственной техники, подтверждающие более высокое качество зарубежной техники по сравнению с российской.

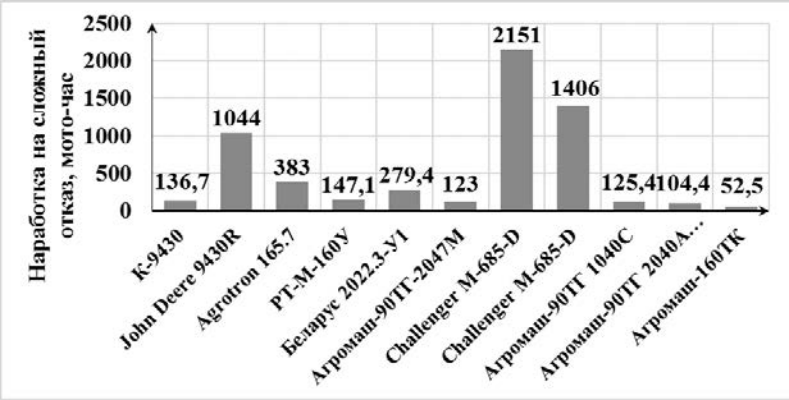


Рис. 1. Показатели надежности тракторов российского и зарубежного производства за 2012-2017 гг.

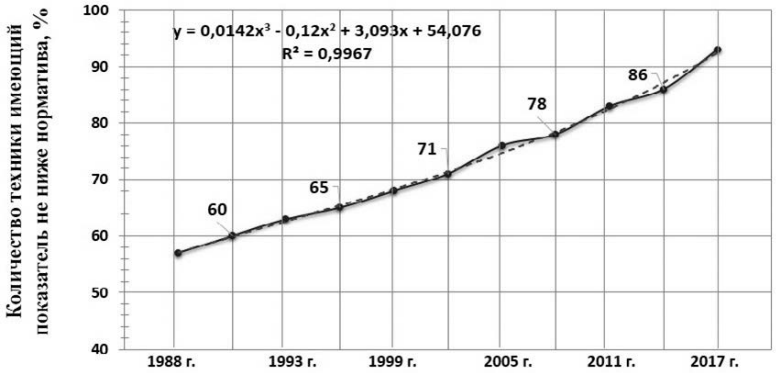


Рис. 2. Динамика изменения качества тракторов по показателю «Наработка на сложный отказ»

Результаты и обсуждение. По результатам обработки данных о качестве техники в различные временные периоды на рисунке 2 показана динамика изменения качества тракторов для 5-летних временных периодов, при этом среднегодовой индекс повышения качества тракторов составил 1,02. Данный показатель принят для расчета нормативов трудоемкости ремонта тракторов при условии, что трудоемкость ремонта техники находится в прямой зависимости от качества машин:

$$T_P \rightarrow f N_K, \quad (1)$$

где: T_P – трудоемкость ремонта;

N_K – показатель качества техники, выраженный показателем «Наработка на сложный отказ» (H_0).

Таблица 2

*Трудоемкость ремонта тракторов для среднего парка по временным периодам**

Тяг. класс	1988-1993 г.г. (60)**) базовый		1994-1999 г.г. (65)		2000-2005 г.г. (71)		2006-2011 г.г. (78)		2012-2017 г.г. (86)	
	чел.-ч/1000 мото-ч	чел.-ч/1000 у.э.га	чел.-ч/1000 мото-ч	чел.-ч/1000 у.э.га	чел.-ч/1000 мото-ч	чел.-ч/1000 у.э.га	чел.-ч/1000 мото-ч	чел.-ч/1000 у.э.га	чел.-ч/1000 мото-ч	чел.-ч/1000 у.э.га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,6	42	157	39	144	36	132	33	121	30	111
0,9	63	111	58	102	53	94	49	86	45	79
1,4	78	100	72	92	66	85	61	78	56	72
2	92	105	85	97	78	89	72	82	66	75
3	102	97	94	89	86	82	79	75	73	69
4	146	93	134	86	123	79	113	73	104	67
5	185	66	170	61	156	56	144	52	132	48
6	193	58	178	53	164	49	151	45	139	41

**) Для целей планирования трудозатрат по массиву тракторов.*

***) Доля парка тракторов, имеющих показатель качества не ниже норматива,%*

За базовые приняли нормативы периода 1988-1993 гг., в соответствии с полученной динамикой качества тракторов рассчитали трудоемкость ремонта для других временных периодов (табл. 2). Вследствие сокращения машинно-тракторного парка и его старения уменьшаются посевные площади. Упрощаются технологии возделывания сельскохозяйственных культур и обслуживания животных, происходит дальнейшее снижение валового производства сельскохозяйственной продукции. С целью определения факторов, оказывающих влияние на эффективность работы хозяйств (размер прибыли и выручки от реализации сельхозпродукции), последние распределили на три группы хозяйств в зависимости от рентабельности. В первую группу вошли сельхозтоваропроизводители с общей посевной площадью 33,9% от всех имеющихся площадей региона, получающие выручку от реализации сельхозпродукции, равную 77,5%, и прибыль – 94,4% от общих показателей по сельхозпредприятиям. Вторая группа хозяйств, имея 32,7% посевных площадей региона, получает выручку 15% и прибыль – 8,1% от общерегиональных показателей. Третья группа хозяйств, располагая 32,9% посевных площадей региона, получает выручку, равную 7,5%, и убыток в размере около 1 млн руб. (табл. 3).Для улучшения показателей по группам сельскохозяйственных предприятий предложили использовать нормативы затрат средств на ремонт техники, обеспечивающих их сокращение за счет использования технологии восстановления запасных частей, так как эти затраты составляют 60-80% от общих затрат на ремонт. Нормативы удельных затрат, приведенные в таблице 3, рассчитаны на основе средних фактических затрат с учетом введения понижающего коэффициента 0,8. Понижающий коэффициент 0,8 определен с учетом возможности использования в

хозяйствах недорого оборудования для восстановления и упрочнения наиболее часто заменяемых деталей, в том числе к почвообрабатывающей технике.

Таблица 3

Влияние технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий на эффективность работы

Показатели	Группа		
	первая	вторая	третья
Количество тракторов на 1000 га посевной площади, шт.	7,1	5,5	3,9
Энергообеспеченность на 100 га посевной площади, л.с.	160,5	141,8	125,7
Рентабельность, убыточность (-), %	17,6	5,1	-6,4
Выручка от реализации сельхозпродукции, млн. руб.	3003	581,3	291,1

Рассчитали нормативы с учетом понижающего коэффициента, что обеспечит общую годовую экономию расходуемых средств на ремонт в объеме 20-25% от общих фактических затрат средств (табл. 4).

Таблица 4

Проект нормативов коэффициента охвата ремонтом, трудоемкости ремонта и удельных затрат средств на единичный ремонт основных групп сельскохозяйственной техники

№ п/п	Наименование групп сельскохозяйственной техники	Нормативы		
		Коэффициент охвата ремонта	Трудоемкость*) ремонта, чел.-час.	Затраты средств**) на ремонт, тыс. руб.
1	Тракторы кл. 5	0,49	136,4	26,4
2	Тракторы кл. 4	0,54	162,0	19,0
3	Прочие тракторы	0,47	165,0	20,1
4	Зерноуборочные комбайны кл 7-8	0,62	230,0	28,2
5	Прочие зерноуборочные комбайны	0,66	180,0	32,3

** Для тракторов на 1000 усл. эт. га., для комбайнов - на календарный год*

*** Для тракторов на 1000 усл. эт. га., для комбайнов - на 100 физ. га уборочной*

Предлагаемые нормативы можно использовать для укрупненных расчетов трудоемкости ремонта среднестатистического массива тракторов определенного класса, включая отечественную и импортную технику разного возрастного состава. Для расчета трудозатрат на ремонт единичных импортных машин, учитывая их более высокую надежность, следует применять повышающий коэффициент надежности (ПКН). Этот коэффициент рассчитали на основе многолетних данных МИС при низком среднем времени устранения отказов импортной техники в сравнении с российской. Он показал усредненную увеличенную наработку на отказ (в сравнении с отечественными машинами) от 3,5 до 4,0 раз.

Выводы. Нормативы, рассчитанные с использованием понижающего коэффициента, будут стимулировать ремонтные предприятия и хозяйства на развитие технологии восстановления деталей, что может обеспечить общую годовую экономию средств на ремонт в объеме 20-25% от общих фактических затрат средств на ремонт, расходуемых в настоящее время сельхозтоваропроиз-

водителями. Нормативы могут быть рекомендованы хозяйствам и ремонтным предприятиям для их использования в 2018-2020 гг. С помощью сэкономленных средств сельскохозяйственные предприятия смогут переоснастить свои ремонтные мастерские новым современным оборудованием и внедрить простейшие технологии восстановления деталей, что позволит обеспечить рациональный баланс требований в отношении стоимости жизненного цикла изделия, повысить до 95% техническую готовность машинно-тракторного парка.

Библиографический список

1. Соловьев С.А., Лялякин В.П., Горячев С.А., Мишина З.Н. Инновационные направления развития ремонтно-эксплуатационной базы для сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2014. 160 с.

2. Измайлов А.Ю. ВИМ: 85 лет в авангарде отечественного сельхозмашиностроения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. Т. 8. N6. С. 10-13.

3. Табаков П.А. Влияние технической оснащенности сельского хозяйства на эффективность производства // Техника и оборудование для села. 2012. N2. С. 35-40.

4. Волкова З.Н., Горячев С.А. Исследование состояния ремонтной базы сельского хозяйства и разработка нормативов планирования затрат на ремонт сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112. Ч 2. С. 9-14.

5. Мишина З.Н., Табаков П.А. Состояния инженерно-технического обеспечения сельскохозяйственного производства России // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 12-19.

6. Мишина З.Н. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники в течение всего жизненного цикла машин // Техника и оборудование для села. 2018. N5. С. 41-43.

7. Кузьмин В.Н., Горячева А.В. Поддержка экспорта Российской сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 35-40.

8. Соловьев С.А., Горячев С.А. Инновационное развитие инженерно-технической системы в сельском хозяйстве России // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121 С. 10-15.

9. Бурак П.И., Голубев И.Г. Реализация инновационных технологий технического сервиса. М.: Росинформагротех. 2014. 164 с.

References

1. Solovyov S.A., Lyalyakin V.P., Goryachev S.A., Mishina Z.N. The innovative directions of development of repair and operational base for agricultural machinery // Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 160.

2. Izmailov A. Yu. VIM: 85 years at the forefront of the domestic agricultural machinery // Mashinii Agricultural technology. 2014. N6. 10-13.

3. Tabakov P.A. Influence of technical equipment of Agriculture on the efficiency of production // Machinery and equipment for the village. 2012. N2. 35-40.

3. Volkova Z.N., Goryachev S.A. The study of the state of the repair base of agriculture and the development of standards for planning the cost of repair of agricultural machinery // Proceedings GOSNITI. 2013. Vol. 112. P. 2. 9-14.

4. Mishina, Z.N., Tabakov P.A. State of engineering and technical support of agricultural production in Russia // Proceedings GOSNITI. 2018. Vol. 130. 12-19.

4. Mishina Z.N. Technical support of agricultural machinery throughout the life cycle of machines // Machinery and equipment for the village. 2018. N5. 41-43.

5. Kuzmin V.N., Goryachev A.V. Support of export of Russian agricultural equipment. Proceedings GOSNITI. 2018. Vol. 130. 35-40.

6. Soloviev S.A., Goryachev S.A. Innovative development of engineering and technical system in agriculture of Russia. Proceedings GOSNITI. 2015. Vol. 121. 10-15.

7.Burak P.I., Golubev I.G. Realization of innovative technologies of technical service. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 164.

УДК 631.173

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРИ ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Михаил Николаевич Костомахин, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Артем Николаевич Воронов, соискатель, научный сотрудник,e-mail: gosniti@bk.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В статье. рассмотрены возможности наиболее рационального применения системы дистанционного мониторинга, диагностики и программирования для выявления причин возникновения неисправностей сельскохозяйственной техники и сбора информации о надежности мобильной сельскохозяйственной техники. (Цель исследования) Определение параметрических отказов сельхозтехники по косвенным диагностическим параметрам, устанавливаемым безразборными методами с применением электроники. (Материалы и методы) Системы мониторинга позволяют обеспечить автоматизированный контроль необходимых параметров технического состояния агрегатов и узлов машин и механизмов, используемых для поиска причин возникновения отказов техники, в период ее эксплуатации на основе документирования фактов работы машины в аварийных или предаварийных режимах работы за счет обеспечения автоматизированного контроля нахождения в допустимых пределах необходимых контролируемых параметров. (Результаты и обсуждение) Для получения результатов измерений контролируемых диагностических и режимных параметров целесообразно использовать данные с CAN-шины, а также применять аналого-цифровые преобразователи (датчики). (Выводы) На основе полученных данных о текущем техническом состоянии машины и наложенной системы допусков оценивают в допуске или не в допуске контролируемый параметр, определяют количество оставшейся наработки до отказа. На основе данных об отказах можно построить закон распределения ресурсного параметра для групп одноименных деталей и сопряжений, что в конечном итоге позволит собирать сведения о надежности техники.*

Ключевые слова: *отказ, долговечность, ресурс, параметр технического состояния.*

Для цитирования: *Костомахин М.Н., Воронов А. Н. Определение обобщенного коэффициента при оценке показателей надежности самоходных сельскохозяйственных машин ///Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 68-74.*

DETERMINATION OF THE GENERALIZED COEFFICIENT AT ASSESSMENT OF INDICATORS OF RELIABILITY OF SELF-PROPELLED FARM VEHICLES

Mikhail N. Kostomahin, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Artem N. Voronov, applicant, researcher, e-mail: gosniti@bk.ru
Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM,Moscow, Russian Federation

Abstract. *In article the possibilities of the most rational application of a system of remote monitoring, diagnostics and programming for identification of the causes of malfunctions of agricultural machinery and collection of information about reliability of mobile agricultural machinery are considered. (Research objective) Definition of parametrical refusals of agricultural machinery in the indirect diagnostic parameters set by in-place methods with use of electronics. (Materials and methods) The systems of monitoring allow to provide automated control of the necessary parameters of the technical condition of the aggregates and units of machines and mechanisms used to search for the causes of equipment failures during its operation based on documenting the facts of the machine's operation in emergency or pre-emergency operation modes by automated control of finding the required controlled parameters in the acceptable range. (Results and discussion) For obtaining results of measurements of controlled diagnostic and regime parameters it is expedient to use data from the CAN tire, and also to use analog-digital converters (sensors). (Conclusions) On the basis of the obtained data on the current technical condition of the car and the imposed system of admissions estimate in admission or not in admission controlled parameter, define quantity of the remained operating time to the full. On the basis of data on refusals it is possible to construct the law of distribution of resource parameter for groups of the details of the same name and interfaces that finally will allow to collect data on reliability of the equipment.*

Keywords: *parameter of technical condition, coefficient of the actual value of parameter.*

For citation: *Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Determination of the generalized coefficient at assessment of indicators of reliability of self-propelled farm vehicles. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 68-74(In Russian).*

Введение. Работоспособность самоходных сельскохозяйственных машин зависит от большого числа случайным образом действующих факторов конструктивного, технологического и эксплуатационного характера. Отказы одноименных элементов машин происходят после различной наработки, что выражается в значительном рассеивании ресурсов элементов и машин в целом [1]. При эксплуатации механизмов разного рода (ДВС, насоса, зубчатой передачи, кулачкового механизма и пр.) потери механической энергии в основном на внешнее трение приводят к изнашиванию контактирующих пар и, как следствие, к изменению размера сопряжений, то есть к постепенному снижению функциональности системы, механизма, машины и в дальнейшем к – отказу.

На основе данных об отказах определяют основные показатели надежности техники: безотказность и долговечность деталей и узлов [2]. Отказ сельскохозяйственных машин определяется как правило отказом составной части (детали, сопряжения) узла или агрегата, состоящих из небольшого числа деталей малой долговечности и большой группы деталей высокой долговечности. При этом одни отказы вызывают необходимость отправки машин или их агрегатов в капитальный ремонт или списание, другие же можно устранить в процессе эксплуатации.

Цель исследования – определение параметрических отказов сельхозтехники по косвенным диагностическим параметрам, устанавливаемым безразборными методами с применением электроники. Применительно к сельскохозяйственной технике задача определения показателей надежности сводится в основном к определению вероятности безотказной работы P(t) и срока службы машины (ресурса). Наиболее удачными характеристиками надеж-

ности являются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и средняя частота отказов. Так как указанные характеристики связаны между собой и с ресурсом, то достаточно знать одну из них (то есть ресурс детали/сопряжения), а остальные, если это необходимо, можно вычислить.

Материалы и методы. Количественное значение надежности системы (машины, механизма) определяется на основе диагностирования ресурсных параметров технического состояния машины в процессе ее технического обслуживания [3]. Этот параметр отражает вероятность выполнения машиной заданных функций в течение требуемого интервала времени в заданных условиях эксплуатации и обеспечении работоспособности машины/агрегата/узла на заданном уровне. При диагностировании в перечень данных должны включать параметры, отклонения значений которых в зависимости от исчерпания ресурса элементов машины и их составных частей за пределы установленных допускаемых значений, будет характеризовать отказ [4-8]. Результаты измерений получают посредством применения аналоговых датчиков и аналого-цифровых преобразователей, которые передают эти сигналы на ПК для их последующей обработки. На основе данных о текущем техническом состоянии машины и наложенной системы допусков, можно оценить в допуске или не в допуске ресурсный параметр, определить количество оставшейся наработки до отказа, а на основе данных об отказах построить закон распределения ресурсного параметра для групп одноименных деталей и сопряжений. При анализе полученных значений контролируемых параметров технического состояния предлагается заменить фактическое значение измеренного параметра коэффициентом фактического значения $K_{F\eta}$, который характеризует изменение контролируемого параметра от 0 до 1.

Если система может находиться в счетном множестве состояний, то показатель фактического значения параметра определяется формулой:

$$K_{F_n} = 1 - \left(\frac{U_F - U_H}{U_P - U_H} \right)^{\alpha} \qquad (1.1)$$

где $\boldsymbol{U_F}$ – фактическое измеренное значение параметра;

$\boldsymbol{U_H}$ – номинальное значение параметра;

$\boldsymbol{U_p}$ – предельное значение параметра;

α – показатель, характеризующий степень изменения параметра $\boldsymbol{U}$,

при $\boldsymbol{U_F} = \boldsymbol{U_H}$, $K_{F\eta} = 1$

при $\boldsymbol{U_F} = \boldsymbol{U_p}$, $K_{F\eta} = 0$

Для информативности определения текущего технического состояния диагностируемого узла/агрегата посредством измерения фактических значений контролируемых ресурсных параметров необходимо ввести поправочный коэффициент $K_{F\eta}$, характеризующий степень значимости контролируемого параметра, учитывающий заведомо нелинейные и неоднозначные связи между измеряемыми ресурсными параметрами в данном узле/агрегате.

Результаты данных о контролируемых параметрах обрабатывают статистическими методами. Например, можно применить метод корреляционного анализа, который направлен на отсечение малозначимых (малоинформативных) параметров и параметров, не удовлетворяющих условиям диагностирования.

На основании полученных эмпирических коэффициентов определяют обобщенный коэффициент надежности $\boldsymbol{K_H}$, учитывающий корреляционные связи между контролируемыми ресурсными параметрами:

$$K_H = K_{F_n} \cdot K_{V_n} \cdot K_{F_{n+i}} \cdot K_{V_{n+j}}, \qquad 1.2)$$

где K_{Fn} – коэффициент фактического значения, характеризующий изменения контролируемого параметра от 0 до 1;

$\boldsymbol{K_{Vn}}$ – коэффициент весомости, характеризующий степень значимости контролируемого параметра.

На рисунке 1 представлена структурная схема оценки свойств надежности дизельного двигателя, основанная на расчете обобщенного/интегрального показателя с учетом коэффициентов, характеризующих ресурсные параметры данного двигателя.

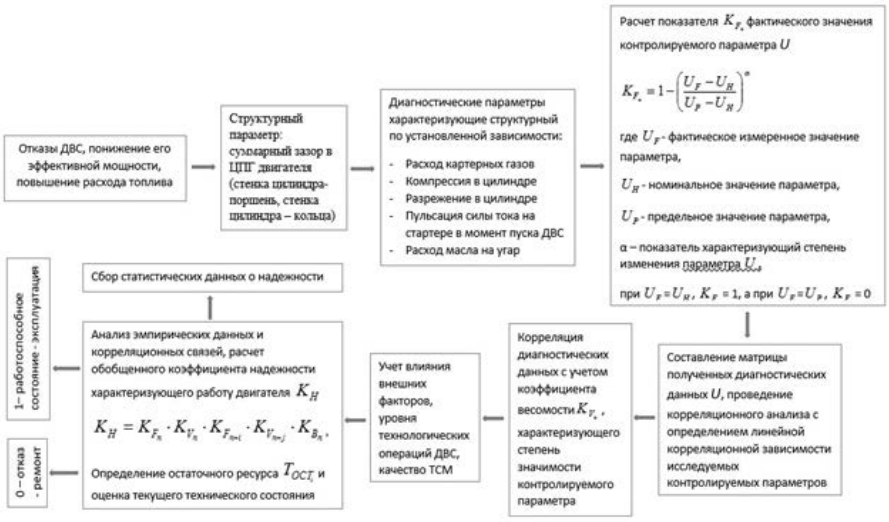


Рис. 1. Структурная схема определения обобщенного коэффициента надежности на примере цилиндро-поршневой группы двигателя Д-245 трактора МТЗ 80/82

Результаты и обсуждение. Проанализировали зависимость основных показателей надежности с представленными данными (таблица). Исходя из этого анализа с помощью CAN-шины целесообразно контролировать параметры, отклонения которых за пределы установленных допускаемых показателей косвенно будут характеризовать неисправность, а предельные значения будут характеризовать отказ. В перечень также включены параметры, изменение которых говорит об изменении режима эксплуатации, связанном с расчетом локального показателя долговечности (ресурса) [9].

Для получения результатов измерений, контролируемых диагностических и режимных параметров целесообразно использовать данные CAN-шины, а также применять аналого-цифровые преобразователи (датчики), которые передают эти сигналы на ПК для последующей обработки.

Для повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники и обеспечения сохранности ее эксплуатационных свойств на заданном уровне необходимо собирать информацию об изменении ее текущего

технического состояния посредством непрерывного мониторинга ресурсных параметров технического состояния, характеризующих износ деталей и сопряжений.

Таблица

Перечень необходимых контролируемых параметров

Контролируемые показатели, считываемые с ЭБУ машины, с помощью CAN модуля	От какого структурного параметра зависит	Использования для расчета показателей надежности
Наработка двигателя, мото/ч	Количество оборотов	Да
Уровень масла в двигателе	Зазоры в ЦПГ ДВС	Да
Уровень охлаждающей жидкости	Герметичность	Да
Давление масла в ГММ	Зазоры в КШМ	Да
Давление воздуха во впускном коллекторе	Производительность турбины	Да
Давление топлива в системе топливоподачи	Производительность насоса	Да
Температура отработавших газов	Зазоры в ЦПГ	Да
Напряжение аккумуляторной батареи	Плотность электролита	Да

Учитывая заведомо нелинейные и неоднозначные связи между измеряемыми ресурсными параметрами в узле/агрегате целесообразно отсекать малозначимые (малоинформативные) параметры.

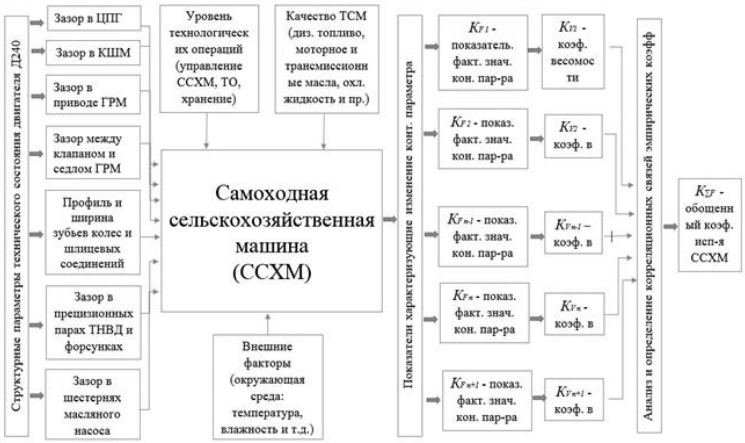


Рис. 2. Структурная схема модели оценки и определения ресурса на примере ЦПГ двигателя Д-240 трактора МТЗ 80

Полученные данные и расчетные зависимости необходимо обрабатывать в стороннем программном обеспечении с последующим расчетом количе-

ства оставшейся наработки машины, а на основе данных об отказах построить закон распределения ресурсного параметра для групп одноименных деталей и сопряжений.

Выводы

Для повышения эффективности использования сельхозтехники и обеспечения сохранности ее эксплуатационных свойств на заданном уровне, целесообразно собирать данные о надежности посредством непрерывного мониторинга параметров технического состояния, характеризующих износ деталей и сопряжений. Установлено, что контролируя ресурсные параметры деталей/сопряжений/узлов и характеризуя их коэффициентами фактического значения контролируемого параметра $K_{F_{\Pi}}$, можно оценивать текущее техническое состояние самоходных сельскохозяйственных машин, которое условно будет изменяться от 1 до 0. Так как система/машина/агрегат характеризуется большим числом ресурсных параметров, то учитывая корреляционные связи между контролируемыми ресурсными параметрами можно оценить каждый конкретный параметр, используя коэффициент весомости, определяющий степень значимости контролируемого ресурсного параметра $\boldsymbol{K_{Vn}}$, учитывающего корреляционные связи между контролируемыми ресурсными параметрами. На основании полученных эмпирических и расчетных коэффициентов вычисляют обобщенный коэффициент $\boldsymbol{K_H}$, характеризующий долговечность машины: среднюю наработку до отказа $\boldsymbol{r}$. Повышение надежности системы/машины/агрегата происходит за счет своевременного технического сервиса эксплуатируемой машины и применения новых инновационных технологий ремонта.

Библиографический список

1. *Пучин Е.А. Основы теории надежности и диагностики технических систем. М.: Росинформагротех. 2013. 182 с.*
2. *Рабинович А.Ш., Сельцер А.А., Шаровский А.А. Методические указания по оценке, прогнозированию и нормированию ресурса и безотказности сельскохозяйственной техники. М.: ГОСНИТИ. 1975. 272 с.*
3. *Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос. 1984. 335 с.*
4. *ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения]. Взамен ГОСТ 27.410-87; введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов. 1996. 19 с.*
5. *Половко А.М. Основы теории надежности. М.: Наука. 1964. 448 с.*
6. *Строгонов А., Жаднов А., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем // Компоненты и технологии. 2007. N5. С. 183-190.*
7. *Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Контроль параметров надежности сельскохозяйственной техники с использованием систем GPS/ГЛОНАСС // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 26-31.*
8. *Алексеев В.В. Новые OBD-‖ GPS-трекеры серии Novatel MT3060 // Беспроводные технологии. 2014. N1. С. 64-69.*
9. *Соломашкин А.А. Способ определения вероятности отказа и среднего фактического ресурса детали машины при заданном законе распределения ее ресурса // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 110. Ч 2. С. 114-119.*

References

1. Puchin E.A. Basics of the theory of reliability and diagnostics of technical systems. Moscow: Rosinformagrotekh. 2013. 182.

2. Rabinovich A.Sh., Seltzer A.A., Sharovsky A.A. Methodical instructions for the assessment, forecasting and rationing of the resource and failure-free operation of agricultural machinery. Moscow: GOSNITI. 1975. 272.

3. Mikhlin V.M. Management of reliability of agricultural machinery. Moscow: Kolos. 1984. 335.

4. GOST 27.301-95. Reliability in engineering. Reliability calculation. Basic provisions. In exchange for GOST 27.410-87. Enter. 1997-01-01. Moscow:: Publishing Standards. 1996. 19.

5. Polovko A.M. Fundamentals of the theory of reliability. Moscow: Nauka. 1964. 448.

6. Strogonov A., Zhdanov A., Polessky A. Review of software complexes for calculating the reliability of complex technical systems. Components and technologies. 2007. N5. 183-190.

7. Kostomahin M.N., Voronov A.N. Control of reliability parameters of agricultural machinery using GPS/GLONASS systems. Proceedings of GOSNITI. 2015. Vol. 118. 26-31.

8. Alekseev V.V. New OBD-Ⅱ GPS-trackers series Novatel MT3060. Wireless technologies. 2014. N1. 64-69.

9. Solomashkin A.A. Method for determining the probability of failure and the average actual resource of a machine part for a given distribution law. Proceedings of GOSNITI. 2012. Vol. 110. P. 2. 114-119

УДК 631.372.012.3.001.2

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

Сергей Геннадьевич Пархоменко[1], кандидат технических наук, доцент, e-mail: s-parkhom@mail.ru;
Галина Геннадьевна Пархоменко[2], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
[1]Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Ростовская обл., Российская Федерация;
[2]Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская обл., Российская Федерация

Реферат. *На показатели функционирования машинно-тракторных агрегатов сильное влияние оказывает совершенство движителей, среди которых колесные являются доминирующими. (Цель исследования) Повысить эффективность функционирования и обеспечить эксплуатационную надежность машинно-тракторных агрегатов за счет оптимального сочетания параметров внутреннего строения тракторных пневматических шин. (Материалы и методы) Изучили характеристики пневматических шин размера 16,9-30 радиальной (серийной) модели Ф-39 и диагонально-параллельной (опытные) конструкции. Конструктивные параметры диагонально-параллельных шин обусловлены латинским квадратом (3х3). Установка для испытаний пневматических шин (шинный тестер) позволяет определить необходимые показатели в реальных условиях эксплуатации. Шинный тестер создан для экспериментальных исследований упругодемпфирующих, деформационных, тяговых характеристик тракторных пневматических шин. Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет определять необходимые характеристики пневматических шин, сравнивать различные варианты. (Результаты и обсуждение) Экспериментальные тяговые характеристики пневматических шин свидетельствуют о большем КПД диагонально-параллельной шины 16,9-30ДП (на 9,2 процента) и меньшем ее буксовании, что предопределяет меньшее истирание почвы данным типом шин. Установлено, что применение опытных шин 16,9-30ДП снижает уплотняющее воздействие агрегата на почву. Прирост тягового сопротивления по следу колеса составляет 47,5 и 27,9 процентов с серийной и опытной шинами соответственно. (Выводы) Определены оптимальные параметры диагонально-параллельной шины: слойность каркаса – 6, угол наклона нитей корда к меридиану в самом широком месте – 33,4, внутреннее давление воздуха – 0,0995 МПа.*

Ключевые слова: *пневматическая шина, жесткость, демпфирование, буксование, коэффициент полезного действия, почва, уплотнение.*

Для цитирования: *Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Оптимизация конструктивных параметров тракторных пневматических шин //Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 75-82.*

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF TRACTOR PNEUMATIC TIRES

Sergey G. Parkhomenko[1], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Galina G. Parkhomenko[2], Ph.D.(Eng.), leading researcher
[1]Azov-black sea engineering Institute – branch of don state agrarian University, Zernograd, Rostov region, Russian Federation;
[2]North-Caucasus scientific research Institute mechanization and electrification of agriculture "Agricultural research center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Abstract. *The performance of machine-tractor units is strongly influenced by the perfection of the propellers, among which the wheels are dominant. (Purpose of research) to Improve the efficiency and ensure the operational reliability of machine-tractor units due to the optimal combination of parameters of the internal structure of tractor pneumatic tires. (Materials and methods) We studied the characteristics of pneumatic tires size 16,9-30 radial (serial) model f-39 and diagonal-parallel (experimental) design. The design parameters of the diagonal-parallel tires are due to the Latin square (3x3). Installation for testing pneumatic tires (tire tester) allows you to determine the necessary indicators in real-world conditions. The tire tester is designed for experimental studies of elastic-damping, deformation, traction characteristics of tractor pneumatic tires. The developed method of experimental studies allows to determine the necessary characteristics of pneumatic tires, compare different options. (Results and discussion). The experimental traction characteristics of pneumatic tires show a higher efficiency of the diagonal-parallel 16.9-30DP tire and its less slipping, which predetermines less abrasion of the soil with this type of tire. It has been established that the application of the experimental tires 16.9-30DP reduces the compaction of the unit on the soil. The increase in tractive resistance along the wheel is 47,5 and 27,9%, respectively, with production and experimental tires. In theoretical studies, the multiplicative optimization criteria were used. An algorithm for finding the minimum of objective function was made. (Conclusion) The optimal parameters of diagonal-parallel tire were determined: the ply layers is 6, the cord inclination to the meridian in the widest place is 33,4o, the internal air pressure is 0,0995 MPa.*

Keywords: *pneumatic tire, stiffness, damping, slippage, coefficient of efficiency, soil, compaction.*

For citation: *Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Optimization of design parameters of tractor pneumatic tires . Technical service of machines. 2019. N.1. P. 75-82 (In Russian).*

Введение (актуальность). На показатели функционирования машинно-тракторных агрегатов сильное влияние оказывает совершенство движителей, среди которых колесные являются доминирующими. В общем случае при движении ведущего колеса по деформируемой поверхности (почве) происходят радиальная и тангенциальная деформации шины, радиальные колебания элементов шины, смятие грунта, проскальзывание отдельных частей пятна контакта шины относительно опорной поверхности, вертикальные колебания и буксование колеса.

На все это затрачивается энергия, полученная шиной от двигателя. Тягово-сцепные свойства тракторов могут быть улучшены путем выбора оп-

тимальных для данных условий работы размеров шин, давления воздуха в шинах и нагрузки на шины, применением дополнительных приспособлений (полугусеничного хода, дополнительных почвозацепов, ведущих осей и сдвоенных шин) [1-8]. Процесс взаимодействия движителей с почвой определяется характером изменения напряжений и деформаций в почве при воздействии на нее движителя и характеризуется затратами энергии на образование колеи, сопротивление перекатыванию и буксование и величиной реализуемой движителями касательной силы тяги. Оптимизация параметров пневматической шины как одного из звеньев колебательной системы и основного элемента колесного движителя является одним из направлений повышения эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов.

Цель исследования – повысить эффективность функционирования и обеспечить эксплуатационную надежность машинно-тракторных агрегатов за счет оптимального сочетания параметров внутреннего строения тракторных пневматических шин.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования включают испытания пневматических шин, конструктивные факторы которых определяются латинским (3×3) квадратом [1, 7, 8]. Теоретические исследования заключаются в поиске минимума целевой функции с использованием мультипликативного критерия оптимизации методом покоординатного спуска.

В процессе экспериментальных исследований изучали характеристики пневматических шин размера 16,9-30 опытной диагонально-параллельной конструкции [1, 7, 8, 12-14]. Элементы наружной геометрии и высота грунтозацепов, коэффициент насыщенности рисунка протектора опытных шин такие же, как у серийных шин 16,9R30 модели Ф-39. Нити корда диагонально-параллельной шины расположены таким образом, что составляют острый угол с направлением движения, причем направление нитей в смежных слоях одинаковое (рис. 1). Вследствие этого под действием крутящего момента они работают на растяжение, а под действием вертикальной нагрузки в зоне контакта – на изгиб.

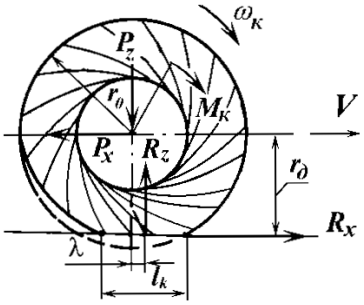


Рис. 1. Принципиальная схема диагонально-параллельной шины

Для исследований оптимизации конструктивных факторов диагонально-параллельных шин использовался комплект, состоящий из 9 шин, конструктивные факторы которых определяются латинским (3×3) квадратом.

Установка для испытаний пневматических шин «шинный тестер» включает: тягач; шарнирную раму, состоящую из привалочной, промежуточной и задней секции; ось, закрепленную в измерительных узлах; механизм привода испытуемого колеса, состоящий из гидромотора, обгонной муфты, цилиндрического и планетарного редуктора; механизм компенсации реактивного момента, состоящий из траверсы и реактивных тяг; путеизмеритель-

ное колесо; регистрирующую аппаратуру и пульт управления, расположенные в кабине трактора (рис. 2) [1, 7-11]. Задняя секция шарнирной рамы выполнена разъемной с поворотной боковой балкой, один конец которой соединен с рамой вертикальным шарниром, а другой – резьбовым соединением. Испытуемое колесо крепится к водилу планетарного редуктора. Ось выполнена разъемной и опирается на раму через наборные шариковые подшипники, установленные в измерительных узлах.

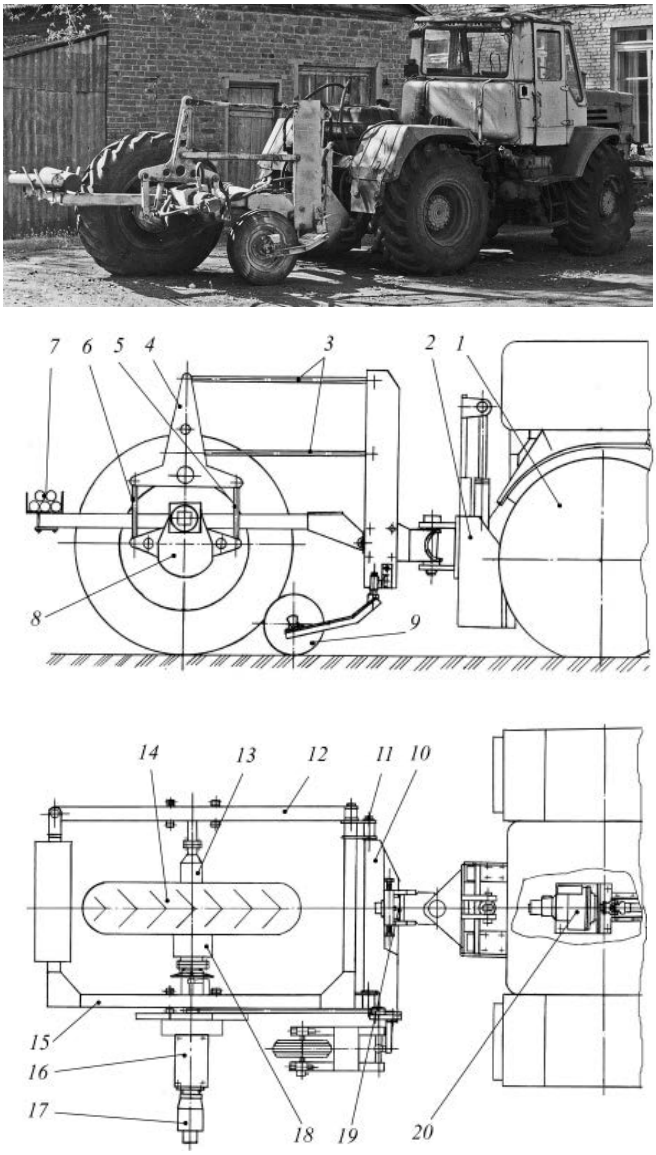


Рис. 2. Шинный тестер: 1– тягач; 2 – привалочная рама; 3, 5, 6 – реактивные штанги; 4 – траверса; 7 – грузы; 8 – цилиндрический редуктор; 9 – путеизмерительное колесо; 10 – промежуточная рама; 11 – горизонтальный шарнир; 12 – боковая балка; 13 – ось; 14 – испытуемое колесо; 15 – рама; 16 – обгонная муфта; 17 – гидромотор; 18 – планетарный редуктор; 19 – продольный шарнир; 20 – гидронасос с регулируемой подачей масла

Конструкция подшипников позволяет оси колеса совершать вращатель-

ное движение относительно своей оси, боковое перемещение (вдоль своей оси), а также продольное перемещение. В измерительных узлах установлены измерительные звенья для регистрации продольных сил. Механизм привода испытуемого колеса – гидростатическая передача ГСТ-90. На тракторе-тягаче установлен насос с переменной подачей масла, который связан с ВОМ трактора. Гидромотор через обгонную муфту соединен с цилиндрическим редуктором, который связан с входным валом планетарного редуктора. Корпус планетарного редуктора соединен с рамой посредством реактивных штанг. Вертикальные штанги являются измерительными звеньями и служат для измерения реактивного момента, равного и противоположно направленного крутящему моменту колеса. Вертикальная нагрузка на ось испытуемого колеса задается с помощью грузов, размещаемых на задней секции рамы тестера.

Для измерения пройденного пути и скорости движения и буксования служит путеизмерительное колесо. Измерительный комплекс включает силоизмерительные датчики, датчики оборотов испытуемого и путеизмерительного колеса, датчики давления в контакте пневматической шины с опорным основанием, датчик деформации шины, датчик угла поворота оси колеса, регистрирующую аппаратуру. Динамометр устанавливается вместо задней вертикальной штанги механизма компенсации реактивного момента. Испытуемое колесо размещали на «шинном тестере».

Нормальная нагрузка на испытуемые шины составляла 14 кН. Изменением подачи гидронасоса «шинного тестера» за счет рассогласования скоростей тягача и испытуемого колеса создавали требуемый крутящий момент на колесе, величину которого определяли по динамометру. Крутящий момент устанавливали на колесе от нуля (ведомый режим) до максимального (ведущий режим).

Запись исследуемых показателей производили при строго прямолинейном движении тестера. Площадь контакта на почвенном опорном основании определяли по осциллограммам контактных давлений с использованием потенциометрических датчиков давления. Датчики устанавливали на выступах грунтозацепов в плечевых зонах, по экватору и между экватором и плечевыми зонами испытуемой пневматической шины.

При качении колеса в ведомом режиме осуществляли запись контактных давлений, которые характеризуют длину поверхности контакта шины с почвой в соответствующем сечении. Для определения энергозатрат на обработку почвы по следу ведущих колес трактора использовали брус культиватора КРН-5,6 с двумя закрепленными на нем секциями и двумя опорными колесами и динамометрической автосцепкой [1, 7, 8, 12-14].

Результаты и обсуждение. Экспериментальные тяговые характеристики пневматических шин свидетельствуют о большем КПД диагонально-параллельной шины 16,9-30ДП (на 9,2%) и меньшем ее буксовании, что предопределяет меньшее истирание почвы данным типом шин. Установлено, что применение опытных шин 16,9-30ДП уменьшает уплотняющее воздействие агрегата на почву.

Результаты экспериментальных исследований уплотняющего воздействия шин на почву по методике ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86, ГОСТ 26955-86 показывают, что при работе трактора на опытных шинах наблюдают большую контурную площадь контакта (на 3,14%), меньшее максимальное давление движителя на почву (на 3,05%) и нормальное напряжение

в почве на глубине 0,5 м (на 0,85%) [10-12]. Прирост тягового сопротивления секций культиватора КРН-5,6 по следу колеса составляет 47,5 и 27,9% с серийной и опытной шинами соответственно.

По результатам измерений и расчетов получены регрессионные зависимости от конструктивных факторов (X_1 – слойность каркаса, X_2 – угол наклона нитей корда каркаса, X_3 – внутреннее давление воздуха в шине) для следующих показателей диагонально-параллельной шины: $F_{кп}$ – площадь контакта на поле под посев, $м^2$; Δ – относительная деформация – отношение радиальной деформации к высоте профиля шины (%) на бетоне; $f_б$, f_c – коэффициенты сопротивления качению на бетоне и стерне озимой пшеницы; K_c – коэффициент увеличения площади контакта на стерне озимой пшеницы; $\eta_{пп}$, $\eta_{ст}$ – КПД шин на стерне озимой пшеницы и поле, подготовленном под посев, соответственно.

$$F_{кп} = 0{,}0213096 - 0{,}0055X_1 + 0{,}01971X_2 - 0{,}22981X_3 + \\ + 0{,}00067X_1^2 - 0{,}00031X_2^2 + 0{,}07963X_3^2, \text{м}^2,$$

$$\Delta = 33{,}78 - 0{,}2091X_1 + 0{,}0003X_2 - 10{,}44X_3, \ \%$$

$$f_б = 0{,}0937 - 0{,}00082X_1 - 0{,}00132X_2 - 0{,}0235X_3$$

$$f_{ст} = 0{,}35464 + 0{,}0386X_1 - 0{,}0204X_2 - 0{,}1305X_3 - \\ - 0{,}00418X_1^2 + 0{,}0003X_2^2 + 0{,}072559X_3^2,$$

$$K_{ст} = 1{,}7886 + 0{,}13175X_1 + 0{,}0091X_2 - 2{,}94759X3 - \\ - 0{,}01596X_1^2 + 0{,}00017X_2^2 + 1{,}51296X_3^2,$$

$$\eta_{пп} = -0{,}5549 - 0{,}020X_1 + 0{,}0878X_2 - 0{,}3206X_3 + \\ + 0{,}00237X_1^2 - 0{,}00132X_2^2 + 0{,}15X_3^2,$$

$$\eta_{ст} = 1{,}2 - 0{,}09908X_1 - 0{,}0301X_2 + 0{,}359X_3 + \\ + 0{,}01187X_1^2 + 0{,}0005X_2^2 - 0{,}21667X_3^2.$$

Исходя из условий работы универсально-пропашного трактора «Беларусь», для которого основные требования к движителю заключаются в обеспечении минимального уплотняющего воздействия на почву при достаточно высоких тягово-энергетических характеристиках, задачу оптимизации конструктивных факторов пневматических шин можно сформулировать: найти такое сочетание слойности, угла наклона нитей корда каркаса и внутреннего давления воздуха в шине, которое создает максимум ее площади на поле, подготовленном под посев, при минимальных значениях радиальной деформации, сопротивления качению на стерне и бетоне и коэффициента увеличения площади контакта на стерне по сравнению с бетоном.

Дополнительно принимают во внимание и величины КПД шин на стерне и поле под посев. Оптимизация по частному критерию с заданными ограничениями носит субъективный характер и не всегда позволяет найти правильное сочетание конструктивных параметров, удовлетворяющее всем предъявляемым требованиям. Более целесообразно использовать аддитивный или мультипликативный критерии оптимизации.

Таким образом, необходимо найти минимум целевой функции:

$$Y = \frac{\Delta^3 f_б f_{ст} K_{ст}^3}{F_{кп}^4 \eta_{пп}^2 \eta_{ст}^2}, \ \%^3/м^8.$$

На основе полученных зависимостей составили алгоритм, по которому рассчитали в среде MATHCAD поиск минимума целевой функции методом покоординатного спуска. Определено-минимальное значение целевой функции Y_{min}=3540 %3/м^8 при слойности каркаса – 6, угле наклона нитей корда к меридиану в самом широком месте – 33,4° внутреннем давлении воздуха – 0,0995 МПа. Площадь контакта шины на поле, подготовленном под посев – 0,175 м^2 при относительной радиальной деформации 22,1%. Значения КПД шины на стерне озимой пшеницы и поле, подготовленном под посев, составляют соответственно 0,728 и 0,70. Величина коэффициента сопротивления качению такой шины на бетоне – 0,021, на стерне – 0,031. Коэффициент увеличения площади контакта на стерне по сравнению с бетоном – 1,064.

Выводы. Разработанная методика экспериментальных исследований позволяет определять необходимые характеристики пневматических шин, выполнять сравнения их различных вариантов.Экспериментальные исследования характеристик пневматических шин свидетельствуют о большем КПД диагонально-параллельной шины (на 9,2%), меньшем буксовании и снижении уплотняющего воздействия на почву.Для шины 16,9-30ДП определены следующие оптимальные параметры: слойность каркаса – 6, угол наклона нитей корда к меридиану – 33,4°, внутреннее давление воздуха – 0,0995 МПа.

Библиографический список

1. *Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. N3 (18). С. 40-47.*

2. *Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Снижение уплотнения почвы при производстве зерна // Хранение и переработка зерна. 2017. N2 (210). С. 20-24.*

3. *Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве // Хранение и переработка зерна. 2017. N1 (209). С. 55-60.*

4. *Золотаревская Д.И. Исследование и расчет уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2016. N8. С. 33-38.*

5. *Золотаревская Д.И. Метод расчета показателей напряженно-деформированного состояния и уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. N7-5. С. 754-763.*

6. *Золотаревская Д.И. Обоснование и экспериментальное подтверждение математических моделей закономерностей деформирования вязкоупругих почв // Международный журнал экспериментального образования. 2013. N3. С. 72-76.*

7. *Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Экспериментальное исследование характеристик тракторных пневматических шин // Тракторы и сельхозмашины. 2017. N11. С. 40-48.*

8. *Пархоменко С.Г. Основы методики исследования характеристик тракторных шин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. N3. С. 173-175.*

9. *Патент на изобретение № 2107275. Российская Федерация. / Кравченко В.А.,*

Яровой В.Г., Пархоменко С.Г., Меликов И.М., Яровой А.В. Шинный тестер. Опубликовано 20.03.98.

10. Патент на изобретение № 2085891. Российская Федерация / Пархоменко С.Г., Яровой В.Г., Кравченко В.А., Меликов И.М. Шинный тестер. Опубликовано 27.07.97.

11. Патент на изобретение № 2092806, Российская Федерация / Меликов И.М., Яровой В.Г., Яровой А.В., Кравченко В.А., Пархоменко С.Г Шинный тестер. Опубликовано 10.10.97.

12. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Динамометрирование навесных сельскохозяйственных машин // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. N1. С. 125-129.

13. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // Тракторы и сельхозмашины. 2016. N4. С. 15-19.

14. Пархоменко С.Г. Автосцепка для динамометрирования навесных сельскохозяйственных машин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. N3. С. 165-167.

References

1. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Increase in energy efficiency of mobile tillage units. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2016. N3 (18). 40-47.

2. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Reduction of soil compaction in the production of grain. Storage and processing of grain. 2017. N2 (210). 20-24.

3. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in plant growing. Khraneniye i pererabotka zerna. 2017. N1 (209). 55-60.

4. Zolotarevskaya D.I. Study and calculation of soil compaction during operation and after stopping the wheeled tractor. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. N8. 33-38.

5. Zolotarevskaya D.I. Method of calculation of indicators of stress-strain state and soil compaction at work and after the wheel tractor stop. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2016. N7-5. 754-763.

6. Zolotarevskaya D.I. Justification and experimental confirmation of mathematical models of laws of deformation of viscoelastic soils. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2013. N3. 72-76.

7. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Experimental study of the characteristics of tractor pneumatic tires. Traktory i sel'khozmashiny. 2017. N11. 40-48.

8. Parkhomenko S. G. Fundamentals of the methods of examination of tractor tires characteristics. Bulltnin of the Belarussian state agricultural academy. 2018. N3. 173-175.

9. Patent No. 2107275 Russian Federation. Tire tester. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Parkhomenko S.G., Melikov I.M. , Yarovoy A.V. Published on 20.03.97.

10. Patent No. 2085891 Russian Federation. Tire tester. Parkhomenko S.G., Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Melikov I.M. Published on 27.07.97.

11. Patent No. 2092806 Russian Federation. Tire tester. Melikov I.M., Yarovoy V.G., Yarovoy A.V., Kravchenko V.A., Parkhomenko S.G. Published on 10.10.97.

12. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Dynamometry of mounted agricultural machines. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 124. No 1. 125-129.

13. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measuring the traction force on the tractor hook in a unit with a mounted agricultural machine. Traktory i sel'khozmashiny. 2016. N4. 15-19.

14. Parkhomenko S. G. Automatic coupler for dynamometry of mounted agricultural machines. Bulltnin of the Belarussian state agricultural academy. 2018. N3. 165-167.

УДК: 631.173; 631.372; 629.066

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИМЕЮЩЕГОСЯ ПАРКА МЭС

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

Реферат. *Парк мобильных энергетических средств (МЭС), находящихся в эксплуатации в настоящее время, по своим заложенным характеристикам контролепригодности и приспособленности к диагностированию не адаптирован к современным требованиям, что значительно повышает риск высокой вероятности сбоя ритма работ по причине внезапных отказов и поломок II и III групп сложности, прежде всего, узлов и агрегатов трансмиссии, ходовой части, навесных и прицепных орудий. (Цель исследования) Разработать макетный образец электронной цифровой системы контроля, применение повышающий эксплуатационную надежность МЭС за счет предупреждения аномальных режимов работы в узлах и агрегатах силовых передач и комплексного контроля качества эксплуатации. (Материалы и методы) Широкое внедрение различных компьютерных систем контроля рабочих параметров и помощи в управлении транспортными средствами обусловлено стремительным развитием цифровых технологий и аппаратных возможностей, наличием широкого спектра доступных электронных цифроаналоговых KIT-наборов, позволяющих проводить измерения, записывать данные и визуализировать процессы в удобной для восприятия форме. Компьютерные средства контроля работы различных узлов и агрегатов машин распространены и в сельском хозяйстве. Внедрение таких систем, позволит минимизировать риск неправильного, неэффективного и неэкономичного выбора рабочих режимов и способствует увеличению ресурса МЭС. Также это уменьшит вредное влияние на экологию, сэкономит ГСМ и улучшит условия труда. Ведение записи параметров рабочих режимов в процессе эксплуатации МЭС дает ценную информацию для обслуживающих дилерских и ремонтных служб. (Результаты и обсуждение) Описали процесс отработки алгоритмов контроля на макетном образце, который, повысит технологическую эффективность использования и эксплуатационную надежность техники. Это достигается путем установки системы контроля за превышающими допускаемыми параметрами и характеристиками работы (аномальными событиями), а также микроклиматом в кабине оператора в процессе эксплуатации МЭС. Контроль аномальных событий используется для оператора с целью уменьшения субъективных оценок при эксплуатации. Получаемые системой данные сравниваются с эталонными характеристиками и параметрами, присущими каждой конкретной модели техники. Итоговая информация выводится на смартфон потребителя, позволяя снизить стоимость продукта на 25-40 процентов. (Выводы) По предварительным экспертным оценкам, эффективность ис-*

пользования системы позволит снизить затраты топлива в 1,1-1,3 раза, а также не допускать грубых ошибок при эксплуатации техники, что будет положительно сказываться на эксплуатационной надежности и конкурентных преимуществах при использовании конечным потребителем.

Ключевые слова: *машинно-тракторный парк, трансмиссия, эксплуатационная надежность, контролепригодность, цифровые технологии, буксование.*

Для цитирования: *Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Поспелов А.Р. Использование цифровых технологий для контроля качества и условий эксплуатации имеющегося парка МЭС // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 83-0*

USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR QUALITY CONTROL AND CONDITIONS OF USE OF THE EXISTING STOCK OF MES

Nikolay A. Petrishchev, Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: gosniti14@mail.ru;
Alexander S. Sayapin, junior researcher;
Artemy R. Pospelov, junior researcher
The federal scientific agroengineering center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *The fleet of mobile power facilities (MEA) currently in operation, according to its inherent characteristics of controllability and adaptability to diagnosis, is not adapted to modern requirements, which significantly increases the risk of a high probability of failure of the rhythm of work due to sudden failures and breakdowns of II and III groups of complexity, first of all, components and assemblies of the transmission, chassis, hinged and trailed guns. (Purpose of research) To develop a model of an electronic digital control system, the use of which should improve the operational reliability of the MEA by preventing abnormal modes of operation in the nodes and units of power transmission and integrated quality control. (Materials and methods) At present, the widespread introduction of various computer systems for monitoring operating parameters and assistance in the management of vehicles is due to the rapid development of digital technologies and hardware capabilities, as well as the availability of a wide range of available electronic digital-to-analog KIT-sets that allow to measure, record data and visualize processes in a user-friendly form. Computer tools for monitoring the operation of various components and assemblies of machines are common in agriculture. The introduction of such systems, first of all, minimizes the risk of incorrect, inefficient and uneconomical choice of operating modes and increases the resource of MEA. It also allows to reduce the harmful impact on the environment, improve the economy of production, save fuel and improve the working conditions of the operator. Keeping records of operating conditions during the entire life cycle of the MEA allows to obtain valuable information for servicing dealer and repair services.It also allows to reduce the harmful impact on the environment, improve the economy of production, save fuel and improve the working conditions of the operator. Keeping records of operating conditions during the entire life cycle of the MEA allows to obtain valuable information for servicing dealer and repair services. (Results and discussion) The article gives*

examples and description of the process of testing control algorithms on a model sample, which in the short term will offer technology that increases the efficiency and operational reliability of equipment. This is achieved by installing a control system for exceeding the permissible parameters and characteristics of the work (abnormal events), as well as the microclimate in the operator's cabin during the operation of the MEA. Abnormal event monitoring is used to assist the operator to reduce subjective assessments during operation. The data obtained by the system are compared with the reference characteristics and parameters inherent in each specific model of equipment. The data obtained by the system are compared with the reference characteristics and parameters inherent in each specific model of equipment. As a display device for the output of measured values, the smartphone of the end user is used, which allows to reduce the cost of the product by at least 25-40%. (Conclusion) According to preliminary expert estimates, the efficiency of the system will reduce fuel costs by 1.1-1.3 times, as well as prevent gross errors in the operation of equipment, which will have a positive impact on operational reliability and competitive advantages when used by the end user.

Keywords: *machine and tractor park, transmission, operational reliability, kontroleprigodnost, digital technologies, slipping.*

For citation: *Petrishchev N.Ah. Sayapin A.S., Pospelov A.R. The use of digital technologies for quality control and operating conditions of the existing fleet of MES. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 83-0(In Russian).*

Введение. Восстановление производства машинно-тракторного парка в РФ предприятиями сельхозмашиностроения еще в значительной мере не покрывает дефицит в современной технике [1]. По данным Минсельхоза РФ, средний возраст тракторов составляет 19 лет, а для обеспечения требуемым количеством техники необходимо порядка 560 млрд рублей, и за несколько лет работы Программы государственного субсидирования производителей сельхозтехники №1432 сложно наверстать отставание по наличию парка техники. Значительно устаревший существующий парк МЭС для повышения эффективности использования требует совершенствование имеющихся и внедрение новых систем контроля качества эксплуатации. Эти мероприятия в свою очередь снижают сверхнормативные издержки, повышают качество продукции, снижают вредное воздействие на почву, что обеспечивает быструю отдачу вложений за счет более полного соответствия агро- и эксплуатационным требованиям, а также повышают эксплуатационную надежность недопущения внезапных отказов и поломок II и III групп сложности, прежде всего узлов и агрегатов трансмиссии, ходовой части, навесных и прицепных орудий. Оперативно выявить начало появления процесса неисправностей узлов и агрегатов трансмиссии и ходовой части органолептическим способом (по повышенному уровню шума, вибрации, запаху) удается далеко не всегда из-за высокого уровня характеристик защищенности кабины от вредных внешних воздействий на оператора (повышенной вибро- и звукоизоляции, встроенных систем очистки воздуха, климат-контроля).

Цель исследования – разработать макетный образец электронной цифровой системы контроля, применение которой должно повысить эксплуатационную надежность МЭС за счет предупреждения аномальных режимов работы в узлах и агрегатах силовых передач и комплексного контроля качества эксплуатации.

Материалы и методы. Технологическая отсталость методов и средств диагностики относительно возросшей конструктивной сложности механизмов основных систем МЭС, прецизионности их функционирования при изменчивости режимов и условий эксплуатации предопределяет снижение эффективности использования потенциала потребительских свойств машин [2]. Конструктивное исполнение систем и средств технического диагностирования (СТД) большинства МЭС по контролепригодности находятся на уровне 20-30- летней давности. Многие из них вообще трудно реализуемы на практике, особенно в полевых условиях, так как, например, внешние СТД связаны с монтажно-демонтажными работами – снятием систем и установкой переходников с разрывом цепей, что требует большого количества дополнительного инструмента и трудозатрат.

Ведущие мировые производители оснащают МЭС встроенными автоматическими СТД и контроля, тестовыми системами (например, Claas Remote Service и др.), позволяющими проводить удаленное диагностирование и планирование технического обслуживания.

Помимо СТД в МЭС интегрируются цифровые системы управления, существенно облегчающие работу оператора. Наибольшую популярность в настоящее время приобрели системы параллельного вождения на основе модулей GPS/Глонасс.

Исследования в области контроля за буксованием движителей тракторов в процессе эксплуатации показывает, что буксование – явление чрезвычайно вредное, так как снижает производительность тракторного агрегата, увеличивает расход топлива, разрушает структуру почвы, а также негативно влияет на его техническое состояние [3-6]. В отсутствии реальных предложений на рынке современных инструментальных средств контроль величины буксования определяют экспериментально путем подсчитывания числа оборотов ведущих колес без нагрузки на мерном участке, а затем с нагрузкой, или для тех же условий, и таким образом определяют оптимальную скорость движения. Данный способ не всегда учитывает, как и GPS/Глонасс, особенности рельефа местности и структуру почвы, поэтому не всегда может быть применен на практике.

При тяговых испытаниях в исследовательских целях контроль буксования осуществляли с применением дополнительного независимого путевого колеса, регистрирующего действительную скорость и пройденный путь. Недостатком такого способа является громоздкость всего необходимого навесного оборудования [7-10].

Результаты и обсуждение. Проведенные первичные поисковые опыты по внедрению элементов цифровых технологий при контроле параметров технического состояния силовых передач и режимов использования тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин выявили, что данные решения позволяют принимать экстренные меры для предотвращения отказов (потерь) в случае фиксации аномальных режимов эксплуатации.

Проведенный опрос потенциальных потребителей показал, что предлагаемый продукт должен обеспечивать минимальные риски при эксплуатации, не должен вносить изменения в конструкцию систем и электрическую схему машины. При разработке макетного образца системы за основу взяли цифровые технологии «умный дом» с применением синтеза аппаратной части платформы Arduino, соответствующих приложений для смартфона (установленного в кабине трактора), а также ввиду доступности в приобре-

тении и широком положительном опыте внедрения при эксплуатации легковых автомобилей различных встроенных и внешних беспроводных датчиков, в том числе с поддержкой современной технологии Bluetooth Low Energy (BLE).

Необходим контроль галопирования, приводящего к значительным динамическим перегрузкам силовых передач, системы управления, рабочих органов прицепного и навесного технологического оборудования. Данные нагрузки снижают управляемость, приводят к разрушению (сбитые и сколотые углы зубьев, шероховатые разломы, деформация) зубчатых колес внутренних агрегатов. Динамические перегрузки также негативно воспринимаются вестибулярным аппаратом оператора, что является причиной снижения внимательности, вызывает укачивание, головокружение и т.д., и значительно влияет на соблюдение требований условий труда и техники безопасности при эксплуатации МТП.

Механические и гидравлические потери неизбежно влекут за собой значительное повышение температуры рабочей жидкости до определенных производителем критических значений. Обычно это не более +85°С при испытаниях механической КПП и ведущих мостов, для ГСТ значения температуры составляют +75°С (максимальная постоянная) и +100°С (максимальная кратковременная). Дальнейшее повышение температуры приводит к изменению кинематической вязкости и смазывающей способности рабочей жидкости, утечкам из-за изменения свойств резиновых и полимерных сальников и прокладок, и, в конечном итоге, к повышенному износу.

Однако в большинстве случаев адекватно зафиксировать локальный перегрев узлов штатными способами не представляется возможным из-за значительной площади агрегата, большого объема рабочей жидкости и быстротечности пиковой нагрузки (от 0,3 до 1,2 сек при переключении передач в КПП К-701). Например, с увеличением времени стабилизации давления при переключении передачи в КПП К-701 происходит нагрев поверхности фрикционов до + 500 °С, превышающей температуру вспышки масла (так, для масла М-10Г2К температура вспышки составляет порядка +220 °С) с выделением дыма, что приводит к образованию лаковых и смолистых отложений, имеющих коэффициент трения значительно ниже (до 2,5 раз) по сравнению с чистой поверхностью дисков. Это явление приводит к перегревам при буксовании дисков, к повышенным термическим напряжениям и деформациям, изменению плоскостности, и, в конечном итоге, «спеканию» дисков передачи.

На рисунках 1, 2 представлены схема и внешний вид разработанного макетного образца системы, которая позволяет решать следующие задачи: контроля уровня буксования (движителей, гидростатических и гидромеханических передач, предохранительных муфт, дифференциалов, определения фактической скорости); продольных и поперечных углов (МЭС, навесного и прицепного оборудования); температуры рабочей жидкости, локального перегрева по наличию дыма в сапунах; линейных ускорений по трем координатам (для оценки плавности хода, эффективности тормозных систем, галопирования); расстояний (до препятствия, прогиба рессоры, глубины колеи); уровня шума и вибрации; давления и температуры в шинах; времени, высоты над уровнем моря; микроклимата (температуры, влажности, наличия газов). При недостатке оборудования для тестовой проверки машин до и после ремонта, применение в качестве альтернативы предлага-

емой электронной цифровой системы контроля параметров работы на основе мобильных устройств, позволит повысить достоверность оценки технического состояния, снизить логистические издержки, минимизировать затраты труда на обнаружение и устранения неисправностей эксплуатируемого в АПК МТП.

Рис. 1. Общая схема макетного образца системы контроля

a *b*

Рис. 2. Общий вид макетной экспериментальной установки:
a – в условиях лаборатории; b – в условиях уличного трека

При проведении поисковых работ по созданию цифровой системы контроля буксования, рабочих параметров и режимов, создали макетную экспериментальную установку, изображенную на рисунке 2. Данная установка состоит из: 1 – показывазывающего принимающего устройства (смартфона), 2 – аккумулятора напряжением 5 В; 3 – блока датчиков (дыма, акселерометра-угломера, шумомера, модуля GPS, приемника-передатчика Bluetooth, Wi-Fi, карты памяти); 4 – датчика-радара скорости (10,25 ГГц СВЧ); 5 – датчика температуры; 6 – датчиков скорости вращения колес; 7 – BLE-датчиков температуры и давления воздуха в шинах движителей; 8 –

маркерных магнитов; 9 – табло штатного (образцового) датчика скорости.

По итогам исследований разработан макетный проект системы для проведения технологического процесса контроля узлов и агрегатов силовых передач и ходовой части, а также МЭС в целом. При дальнейших исследованиях планируют организовать процесс реальной оценки текущих и аномальных эксплуатационных параметров, влияющих на техническое состояние и эксплуатационную надежность, в первую очередь для недопущения грубых нарушений правил пользования техникой и неполного осуществления операций ЕТО. А также для контроля соблюдения требований ГОСТ 30745-2001(ИСО 789-9-90) «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых по¬казателей», для сопоставления значений буксования (указанных в п.п. 6.6.) к условиям реальной эксплуатации. В результате проведенной работы составлен проект методики оценки контроля качества и условий эксплуатации силовых передач имеющегося парка МЭС за счет использования цифровых технологий. Это позволит более полно оценивать уровни нагрузок для обеспечения и сопоставления расчетной и эксплуатационной надежности, недопущения использования техники в критических, неблагоприятных (аномальных) режимах. В виду того, что различная специфика работ силовых передач трансмиссии и ходовой части в реальных условиях эксплуатации имеет значительный разброс по нагрузкам, в настоящее время затруднительно получить аналитическое решение задачи, обеспечивающее минимизацию потока отказов. Так как динамическая модель МЭС сложносоставная (двигатель – трансмиссия – ходовая часть – прицепные (навесные) рабочие органы – масса МЭС – почва), возможно построить дерево отказов (рис. 3).

Рис. 3. Дерево отказов трансмиссии и ходовой части МЭС

Первые ответвления соответствуют однотипным узлам, а вторые характеризуют предельные состояния. Данная схема визуализирует основные виды состояний и позволяет правильно интерпретировать техническое состо-

яние с применением макетной экспериментальной установки. Так как при эксплуатации тракторов отказы делятся на три группы (в зависимости от времени восстановления и экономических потерь), существует сложность их унифицировать в зависимости от конкретной марки. Например, для тракторов «Кировец» для ремонта ресурсоопределящих деталей (фрикционных дисков ведущего вала) существует необходимость транспортировки трактора, снятия кабины, разагрегатирования КПП с карданными валами, снятия ведущего вала, замена фрикционных дисков, последующая их проверка на специально стенде. В свою очередь собранная КПП также проверяется на специальном стенде, оборудованном собственным управляемым электроприводом и необходимыми системами КИП. Необходимо также отметить, что, например, при спекании фрикционных дисков существует опасность для жизни людей, так как передача не выключается и трактор может самопроизвольно двигаться.

Таблица

Параметры и средства контроля силовых передач МЭС

Контролируемый параметр	Примечание
Измерение (бесконтактно) фактической скорости перемещения МЭС, рабочих органов; расстояния, скорости приближения (радар)	Визуально-звуковая оценка
Измерение (бесконтактно) фактической скорости перемещения МЭС, рабочих органов (датчик Холла, GPS/ГЛОНАСС)	Визуально-звуковая оценка
Оценка уровня скольжения, буксования (валов, полуосей, шкивов, движителей и др.), вычисление текущего коэффициента буксования	Оценка визуальная
Измерение углов крена и тангажа, текущие значения с сигнализацией предельных предустановленных значений	Оценка визуально-звуковая
Измерение углов крена и тангажа дискретно предустановленных (15°, 30°, предельные и аварийные значения)	Сигнализация, визуальная, оценка
Измерение давления и температуры движителей (пневматических шин)	Оценка визуально-звуковая
Измерение и вычисление глубины колеи, перемещения поршней бустера передачи ведущего вала	Сигнализация, визуальная оценка
Измерение текущих значений уровня шума и температуры	Визуальная оценка
Измерение текущих значений температуры и влажности	Визуальная оценка
Измерение текущих значений вибрации и температуры	Визуальная оценка
Сигнализация наличия предельных (предустановленных) значений уровней вибрации на отдельных узлах	Сигнализация, визуальная оценка
Сигнализация, датчик детектирует наличие дыма	Сигнализация, визуальная оценка
Измерение линейных ускорений МЭС по трем координатам	Сигнализация, визуальная оценка

В таблице представлена номенклатура параметров и средств контроля, позволяющая осуществлять визуализацию и по достижению предельных значений сигнализировать о наличии отклонений значений от номинальных эксплуатационных характеристик, а также более точно оценивать техническое состояние МЭС.

Выводы

1. Комплексный контроль текущего технического состояния с применением цифровых технологий позволит не допускать аварийных (аномальных) режимов работы, что неизбежно повысит эксплуатационную надежность имеющегося парка и снизит затраты на владение МЭС, минимизирует негативное вредное воздействие на почву.

2. Эксплуатируемые МЭС нуждаются в повышении контролепригодности и приспособленности к безразборному диагностированию в первую очередь трансмиссии и ходовой части для обеспечения их взаимного расположения и позиционирования приработанных поверхностей.

3. Оснащение новых и эксплуатируемых отечественных МЭС системой контроля качества и условий эксплуатации повысит конкурентоспособность и привлекательность использования продукции сельхозмашиностроения, как на внутренним, так и на внешних рынках.

Библиографический список

1. Смирнов М.А., Лавров А.В., Шевцов В.Г. О необходимости восстановления механизированного сельскохозяйственного производства в России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т.14. N1 (358). С. 48-61.

2. Плаксин А.М., Гриценко А.В. Взаимосвязь конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств с методами диагностирования их технического состояния // Фундаментальные исследования. 2013. N10. Ч. 15. С. 3373-3377.

3. Плаксин А.М., Гриценко А.В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин // Вестник КрасГАУ. 2013. N12. С. 185-193.

4. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Русанов А.В. Исследование давления колесного движителя на почву с учетом характеристики шины // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N1. С. 5-10.

5. Коновалов Д. Н., Коновалова М. В. Анализ методов улучшения тягово-сцепных качеств и снижения буксования колесных движителей мобильных сельскохозяйственных агрегатов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 39. С. 1461-1465.

6. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Трубицын Н.В., Таркивский В.Е. Применение инерциальной навигации для определения буксова¬ния сельскохозяйственных тракторов // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. N1. С. 8-23.

7. Лопарев А.А., Венглинский А.М., Комкин А.С. Снижение буксования колесных универсально-пропашных тракторов при выполнении технологических операций // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. N4. С. 30-35.

8. Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Поспелов А.Р. , Крюковская Н.С., Капусткин А.О., Хисметов Н.З. Анализ и перспективы использование цифровых технологий для контроля качества эксплуатации силовых передач и ходовой части МТП // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N8. С. 17-25.

9. Дорохов А.С., Петрищев Н.А., Макаркин И.М., Поспелов А.Р., Саяпин А.С., Крюковская Н.С. Резервы повышения производительности и надежности МТП в АПК // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N11. С. 34-39.

10. Цитович И.С., Митин Б.Е., Дзюнь В.А. Надежность трансмиссий автомобилей и тракторов. Минск: Наука и техника. 1985. 143 с.

References

1. Smirnov M.A., Lavrov A.V., Shevtsov V.G. O of need of recovery of the mechanized agricultural production in Russia //National interests: priorities and safety. 2018. T.14. N1 (358). 48-61.

2. Plaksin A.M., Gritsenko A.V. Vzaimosvyaz of constructive improvement of mobile power means with methods of diagnosing of their technical condition // Basic researches. 2013. N10. Part. 15. 3373-3377.

3. Plaksin A.M., Gritsenko A.V. Development of means and methods of test diagnosing of cars // Messenger of KRASGAU. 2013. N12. 185-193.

4. Godzhayev Z.A., Izmaylov A.Yu., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Rusanov A.V. Issledovaniye of pressure of the wheel propulsion unit upon the soil taking into account the characteristic of the tire // Farm vehicles and technologies. 2016. N1. 5-10.

5. Konovalov D.N., Konovalova M.V. Analysis of methods of improvement of traction and coupling qualities and decrease in slipping of wheel propulsions unit of mobile agricultural units // Scientific and methodical online magazine "Kontsept". 2017. Vol. 39. 1461-1465.

6. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Trubitsyn N.V., Tarkowski V.E. Application of inertial navigation for definition of slipping of farm tractors // The Bulletin of the Mordovian university. 2018. Vol. 28. N1. 8-23.

7. Loparev A.A., Venhlinskiy A.M., Komkin A.S. Decrease in slipping of wheel universal and row-crop tractors when performing technology operations // Technology of wheel and tracked vehicles. 2014. N4. 30-35.

8. Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Pospelov A.R., Kryukovskaya N.S., Kapustkin A.O., Khismetov N.Z. The analysis and perspectives use of digital technologies for quality control of operation of power gears and a running gear of MTP // Agricultural machinery: service and repair. 2018. N8. 10-15.

9. Dorokhov A.S., Petrishchev N.A., Makarkin I.M., Pospelov A.R., Sayapin A.S., Kryukovskaya N.S. Reserves of increase in productivity and reliability of MTP in agrarian and industrial complex // Agricultural machinery: service and repair. 2018. N 9. 11-16.

10 Cytovich I.S., Mitin B.E., Dzyun V.A. Nadezhnost of transmissions of cars and tractors. Minsk: Science and technology. 1985. 143.

УДК 621.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ 3D-ФЕРМЫ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Алексей Сергеевич Свиридов, младший научный сотрудник,
e-mail: sviridef4@yandex.ru;
Сергей Петрович Тужилин, инженер;
Юлия Александровна Лопатина, научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Детали машин, выполненные из полимерных и созданных на их основе композиционных материалов, находят в настоящий момент все большее распространение в конструкциях машин, в том числе в конструкциях сельско-хозяйственной техники и оборудования. Ремонтные предприятия не всегда могут восстановить работоспособность неисправного узла, восстановив работо-способность детали. Для реабилитации узла необходимо заменить изношенные детали. Приобретение и доставка запасных частей оборудования могут оказать-ся сложной задачей ввиду преобладающей доли использования импортной техники во многих отраслях, включая сельское хозяйство. (Цель исследования) Оценить возможности повышения эффективности ремонтных предприятий, ориентированных на восстановление деталей и узлов из полимерных и компо-зиционных материалов за счет внедрения на производстве цифровой 3D-фермы. (Материалы и методы) Материалом данного исследования стали данные об использовании концепции цифровой 3D-фермы на различных предприятиях машиностроительной отрасли. В качестве материала рассматривается опыт применения данной технологии на базе ВИМ. Метод исследования – сбор, изучение и сравнительный анализ информации. (Результаты и обсуждение) Выявили, что оборудование, необходимое для реализации концепции цифровой 3D-фермы, является дешевым и универсальным по сравнению с оборудованием, применяемым в настоящее время на предприятиях. Указанное оборудование позволяет получать изделия более сложной формы за меньшие промежутки времени. (Выводы) Концепция цифровой 3D-фермы за счет применяемого оборудования и технологий более эффективна по сравнению с традиционными методами обработки и производства с точки зрения сложности изготавливаемых деталей, их номенклатуры и производительности. Однако ввиду определенной специфики и ограничений, внедрение этой концепции на предприятиях, в том числе ремонтных, затруднено.*

Ключевые слова: *3D-ферма, 3D-принтер, 3D-сканер, ремонт, восстановление работоспособности, полимер, композит*

Для цитирования: *Свиридов А.С, Тужилин С. П., Лопатина Ю.А. Использование цифровой 3d-фермы в ремонтном производстве сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 93-99.*

THE USE OF DIGITAL 3D-FARM FOR USE IN THE REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY

Alexey S. Sviridov, junior researcher, e-mail: sviridef4@yandex.ru;
Sergey P. Tuzhilin, engineer;
Julia A. Lopatina, researcher
Federal scientific agroengineering center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *Machine parts made of polymer and composite materials based on them are currently becoming more common in machine designs, including agricultural machinery and equipment. Repair companies are not always able to restore the operability of a faulty assembly, by restoring the workability of the part. Often, to restore the site you need to replace worn parts. However, the acquisition and delivery of spare parts of equipment can be a difficult task due to the predominant share of the use of imported equipment in many industries, including agriculture. (Purpose of research) To evaluate the possibility of increasing the efficiency of repair businesses, recovery-oriented parts of the polymer and com-position materials due to the introduction in the production of digital 3D-farm. (Materials and methods) The material of this study is data on the use of the concept of a digital 3D farm in various enterprises of the engineering industry. In addition, the experience of using this technology on the basis of VIM is considered as a material. The method of research is the collection, study and comparative analysis of information. (Results and discussions) As a result of the research, it was revealed that the equipment necessary to implement the concept of a digital 3D farm is cheaper and more versatile than the equipment currently used in enterprises. In addition, it allows you to get products of more complex shape in less time intervals. (Conclusion) The concept of a digital 3D farm, due to the equipment and technology used, is more efficient than traditional methods of processing and production in terms of the complexity of the parts produced, their range and performance. However, due to certain specifics and limitations, the implementation of this concept in enterprises, including repair, is difficult.*

Keywords: *3D-farm, 3D-printer, 3D-scanner, repair, recovery, polymer, composite*

For citasion: *Sviridov A.S., Tuzhilin S.P., Lopatina J.A.,The use of digital 3d-farm for use in the repair of agricultural machinery. Machinery. Technical service. 2019. N.1. P. 93-99.(In Russian).*

Введение. Тенденция развития технологий аддитивного производства с каждым годом набирает темп и постепенно заменяет традиционные методы производства [1]. Ее перспективной формой служит 3D-ферма, представляющая собой совокупность 3D-принтеров, связанных между собой локально и управляющихся одним оператором. Подобная форма организации позволяет в режиме реального времени отправлять изделия на печать, осуществлять мониторинг процесса создания изделия и при необходимости вносить корректировки и изменения, получать уведомления о завершении работы, возникновении неисправностей, окончании расходного материала. Использование 3D-фермы позволяет сократить производственный цикл, уменьшить накладные расходы и сроки изготовления продукции при единичном и мелкосерийном производстве изделий из полимерных и композиционных

материалов. Наибольшее распространение получили 3D-фермы с принтерами, работающими по технологиям FDM, SLA и SLS. Технология FDM (Fused Deposition Modeling) представляет собой метод создания детали послойным наплавлением полимерного материала по заранее подготовленной управляющей программе. Управляющая программа создается на основе цифровой модели детали с помощью специального программного обеспечения. Основными преимуществами данной технологии являются низкая стоимость и широкий ассортимент расходных материалов, что позволяет создавать изделия с необходимыми свойствами. Толщина наплавляемого слоя, как правило, нахо-дится в диапазоне от 0,1 до 1 мм, ширина – от 0,2 до 2 мм в зависимости от модели 3D-принтера, сопла печатающей головки и требованиям к детали [2].

Технология SLA (от англ. stereolithography – стереолитография) основана на послойном отверждении жидкого полимера под воздействием излучения ла-зера или проектора. Основные преимущества данной технологии: возможность изготовления изделий любой сложности (тонкостенные, мелкие детали), высокая точность и качество поверхности изделий, высокие механические свойства, низкий расход материала. Расходным материалом для данной технологии служит фотополимер – вещество, изменяющее свойства при воздействии ультра-фиолетового излучения. Точность полученного изделия во многом зависит от непрозрачности применяемого фотополимера, обуславливающей отсутствие рассеивания света при полимеризации примыкающего к модели материала. Толщина слоя для данной технологии варьируется в пределах от 0,05 до 0,13 мм [3, 4].

Технология SLS (Selective Laser Sintering) представляет собой послойное спекание порошковых материалов под действием лазерного излучения. К пре-имуществам данной технологии можно отнести высокие механические свойства получаемых изделий, высокую точность и качество поверхности изделий, отсутствие потребности в создании поддержек при печати изделий сложных форм, что позволяет снизить расход материала.

В качестве порошка для изготовления изделий селективным лазерным спеканием могут использоваться как однокомпонентные материалы, так и порошковые смеси, например, полимеры (нейлон или полистирол), керамика, стекло, металлы, включая сталь, титан, смеси сплавов, композиционные мате-риалы. Широкий диапазон применяемых материалов позволяет получать изделия с требуемыми физико-механическими свойствами. Минимальная толщина слоя для данной технологии составляет 0,075 мм [5, 6].

Задачей создания 3D-фермы, состоящей из участка 3D-сканирования, участка 3D-печати и участка финишной обработки изделий, служит повышение эффективности ремонтного производства, связанного с заменой изношенных полимерных и композитных деталей агрегатов и машин. Кроме того, использование 3D-сканеров позволяет увеличить эффективность диагностических работ и работ, связанных с обратным проектированием, что является актуальным в условиях ремонта импортной техники.

Цель исследования – оценить возможности повышения эффективности ремонтных предприятий, ориентированных на восстановление деталей и узлов из полимерных и композиционных материалов за счет внедрения на производстве концепции цифровой 3D-фермы.

Материалы и методы. Материалом данного исследования служат данные об использовании концепции цифровой 3D-фермы на различных пред-

приятиях машиностроительной отрасли. Кроме того, в качестве материала рассматривается опыт применения этой концепции на базе ВИМ. Методом исследования стали сбор, изучение и сравнительный анализ информации.

Результаты и обсуждения. Основным преимуществом технологий 3D-печати является возможность создания изделий сложной формы. Среди традиционных методов производства подобных изделий можно выделить так называемый «вычитающий» метод фрезерования деталей на многокоординатных станках с ЧПУ, а также разнообразные виды литья. Несмотря на высокую точность и качество поверхности изделий, получаемых на фрезерных станках с ЧПУ, их применение для изготовления деталей из полимерных или композиционных материалов нецелесообразно ввиду высокой стоимости оборудования по сравнению с оборудованием для 3D-печати и необ-ходимости привлечения высококвалифицированного персонала для наладки оборудования и создания управляющей программы. Кроме того, обработка деталей со сложной конфигурацией занимает достаточно много времени из-за большого количества технологических операций и переходов, что также является недостатком данного метода по сравнению с 3D-печатью. Дополнительное преимущество 3D-печати – отсутствие необходимости переналадки оборудования при изменении номенклатуры, что делает оптимальным ее использование в условиях ремонтного производства, являющегося, как правило, единичным или мелкосерийным [7].

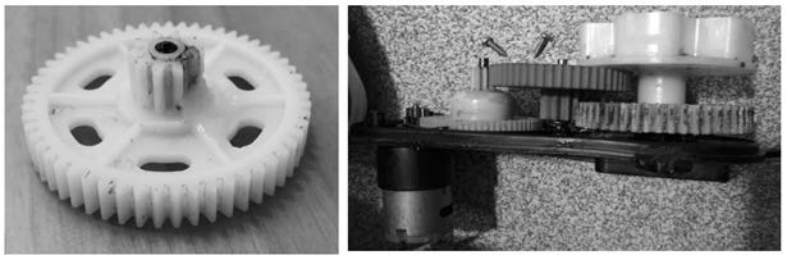
Широкое распространение для производства полимерных деталей сложной формы получил метод литья реактопластичных полимеров в силиконовые формы, в частности, разнообразных полиуретанов, обладающих широким спектром эксплуатационных свойств в зависимости от марки. Процесс литья включает в себя следующие этапы: создание мастер-модели, с помощью которой изготавливается двухсоставная литейная силиконовая форма, смешивание компонентов полимера и заполнение формы, затвердевание и извлечение. Данная технология позволяет получать детали достаточно высокой точности, с хорошим качеством поверхностного слоя и высокими механическими характери-стиками. Такой цикл изготовления является весьма затратным для получения единичного изделия или мелкосерийной партии объемом до 5 шт., что делает использование 3D-принтера на ремонтном предприятии оправданным. Кроме того, широкий спектр доступных расходных материалов для 3D-печати по своим физико-механическим, термическим и прочностным свойствам не уступает полиуретанам.

К недостаткам технологий 3D-печати относят пониженные в некоторых случаях прочностные свойства получаемых изделий ввиду технологических особенностей методов печати (например, плохая межслойная адгезия при печати по технологии FDM), а также зачастую низкое качество поверхности, что обусловливает необходимость последующей химической, механической или химико-механической обработки деталей, к которым предъявляются высокие требования.

Опыт использования цифровой 3D-фермы на базе ВИМ

В настоящий момент на базе ВИМ функционирует цифровая 3D-ферма, позволяющая в минимальные сроки осуществлять обратное проектирование и изготовление деталей и узлов сельскохозяйственной техники. Возможности данной 3D-фермы позволили осуществить оперативную замену зубчатого коле-са на приводе насоса низкого давления (рис. 1). Неисправность заключалась в выбраковке зуба шестерни. Было произведено обратное про-

ектирование неисправного зубчатого колеса, получена CAD-модель, доработана в специализиро-ванном программном обеспечении и по ней изготовлено новое изделие методом FDM-печати.



a) *b)*

Рис. 1. Зубчатое колесо привода насоса низкого давления:
a) изношенное зубчатое колесо; b) привод насоса в сборе с новым зубчатым колесом

Применение цифрового 3D-сканера из состава парка оборудования 3D-фермы позволило оценить степень износа фрикционных дисков трактора К-701 (рис. 2). Сложный микрорельеф рабочей поверхности фрикционного диска не дает использовать традиционные инструменты для определения величины износа, в связи с чем измерение выполнили с помощью 3D-сканирования. На основе проведенной оценки степени износа партии фрикционных дисков сделали заключение об их оптимальных сроках эксплуатации.

Рис. 2. Цифровые модели фрикционных дисков со следами износа

Перспективы применения 3D-ферм на ремонтных предприятиях

Ремонт сельскохозяйственной техники чаще всего происходит в течение одной-двух недель в случае сложной поломки и в течение 2-3 суток, если проблема мелкого и среднего характера. Однако в случае ремонта зарубежных единиц техники, доля которых преобладает в настоящий момент в структуре парка используемых сельскохозяйственных машин (рис. 3), происходит существенное увеличение срока и стоимости ремонта за счет покупки запасных частей у компании-производителя и их транспортировки до места ремонта. Проведение ремонта импортной техники силами отечественных ремонтных предприятий зачастую затруднено вследствие отсутствия конструкторской документации на зарубежную технику. Участок 3D-сканирования позволяет проводить обратное проектирование вышедших из строя деталей сельскохозяйственной техники и в короткие сроки получать их CAD-модели и чертежи.

Рис. 3. Доля отечественных и зарубежных тракторов на рынке РФ в 2017 г.

Полученные 3D-модели и чертежи можно оперативно использовать для ремонта сельскохозяйственной техники, в частности, с помощью распечатки изношенных и подлежащих замене деталей на 3D-принтере. Большой выбор расходных материалов 3D-печати позволяет изготавливать детали с такими же физико-механическими, химическими, термическими свойствами, которыми обладали данные детали в работоспособном состоянии.

3D-сканирование на ремонтном предприятии перспективно для использования в качестве средства контроля геометрии деталей сельскохозяйственной техники [8-10]. Контроль геометрии осуществляется сравнением полученной цифровой модели с идеальной, что позволяет выявить и оценить степень износа, дать рекомендации по остаточному сроку службы, необходимости восста-новления или замены деталей сельскохозяйственной техники.

Выводы

Таким образом, внедрение концепции цифровой 3D-фермы с участком 3D-печати, 3D-сканирования и химико-механической постобработкой на ре-монтном предприятии способствует повышению скорости восстановления ра-бочего состояния агрегатов и машин путем быстрой замены вышедших из строя деталей из полимерных и композиционных материалов на новые, изготовленные на 3D-принтере. Оперативно проведенный ремонт приводит к сокращению простоя сельскохозяйственной техники и выполнению агротехнических норм согласно плану. Ограничения и специфика оборудования, необходимого для реализации этой концепции, затрудняют ее внедрение как на производственных, так и на ремонтных предприятиях сельскохозяйственного сектора.

Библиографический список

1. *Мальцева О.В. Развитие мирового рынка 3D-принтеров // Российский внешнеэкономический вестник. 2018. N9. С. 88-97.*
2. *Игонина Е.В., Дружинина О.В. Особенности разработки и применения FDM-технологии при создании и прототипировании 3D-объектов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13. N2. С. 185-193.*
3. *Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1. // Омский научный вестник. 2016. N1 (145). С. 12-17.*
4. *Katkar R.A., Taft R.M., Grant G.T. 3D Volume Rendering and 3D Printing (Additive Manufacturing) // Dental Clinics of North America. 2018. V. 62. Iss. 3. 393-402.*
5. *Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В., Федянин В.В., Кощеева Н.С. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 2. Омский научный вестник. 2016. N5 (149). С. 20-24.*

6. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges // Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 143. 172-196.

7. Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехно-логии в строительстве: научный интернет-журнал. 2018. N4 (10). С. 142-158.

8. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизирован-ным измерительным устройством // Наука без границ. 2018. N2 (19). С. 44-50.

9. Дорохов А.С., Скороходов Д.М. Контроль геометрических и физико-механических параметров запасных частей сельскохозяйственной техники с использованием автоматизированной измерительной установки // Труды ГОСНИТИ. 2016. N122. С. 59-62.

10. Скороходов Д.М. Влияние факторов на точность контроля качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизированным измерительным устройством // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2018. N2 (84). С. 44-49.

References

1. Maltseva O. V. Development of the world market of 3D printers. Russian foreign economic Bulletin. 2018. N9. 88-97.

2. Igonina E. V., Druzhinina O. V. Features of development and application of FDM-technology at creation and prototyping of 3D-objects. Modern information technologies and IT education. 2017. Vol. 13. N2. 185-193.

3. Letunov S. N., Slobodenyuk V. S., Melnikov D. V. Review and analysis of additive technologies. Part 1. Omsk scientific Bulletin. 2016. N1 (145). 12-17.

4. Katkar R. A., Taft R. M., Grant G. T., 3D Volume Rendering and 3D Printing (Additive Manufacturing). Dental Clinics of North America. 2018. Vol. 62. Iss. 3. 393-402.

5. Litunov S. N., Slobodyanyuk V. S., Melnikov D. V., Fedyanin V. V., Koshcheeva N.S. Review and analysis of additive technologies. Part 2. Omsk scientific Bulletin. 2016. N1 (145). 12-17.

6. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Composites Part B: Engineering. 2018. Vol. 143. 172-196.

7. Sergeeva O. Yu., Additive processes and 3D modeling. Nanotechnology in construction: scientific Internet journal. 2018. N4 (10). 142-158.

8. Dorokhov A.S., Kataev Y.V., Krasnyashchikh K.A., Skorokhodov D. M. Quality Control of agricultural machinery spare parts, automated measuring device. Science without borders. 2018. N2 (19). 44-50.

9. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. control of geometric and physical and mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery with the use of an automated measuring unit. Trudy GOSNITI. 2016. N122. 59-62.

10. Skorokhodov D.M. influence of factors on the accuracy of quality control of spare parts of agricultural machinery automated measuring device. Bulletin of the MGAU them V. P. Goryachkin. 2018. N2 (84). 44-49.

Михлин Владимир Матвеевич – *основоположник научно-технического направления «Управление надежностью сельскохозяйственной техники», организатор разработки в ГОСНИТИ методов и средств диагностирования самоходных машин АПК, многосерийного произ-водства и внедрения всего комплекса диагностических средств в ССС. Доктор технических наук, заслуженный деятель науки СССР, Лауреат Премии СМ СССР, профессор, академик РАЕН.*

Владимир Матвеевич Михлин родился 13.07.1928 г. Оставшись без родителей, призванных на фронт, пробивался в жизни самостоятельно. Повзрослев, окончил артиллерийское училище, позже – с отличием Киевский политехнический институт и как инженер - строитель, по велению души, был направлен на три года работать с заключенными на Уральский мраморный карьер. Далее, «получив боевое крещение», был назначен главным инженером Полотняно-Заводской МТС Калужской обл. и через несколько лет, наладив работу МТС, поступил в аспирантуру ВИМ. Имея опыт организатора производств и практическую хватку, быстро подготовил и защитил кандидатскую диссертацию по организации рациональ-ного применения и контроля качества консистентных смазок для МТП АПК. Поэтому, как перспективного ученого и хорошего организатора Владимира Матвеевича в 1961 г. назначили заместителем директора по науке в только что организованном Целинном филиале ГОСНИТИ.

Здесь приходилось решать вопросы организации научных исследований, включать в план актуальные тематики для выпускников вузов, прививать им вкус к высокой науке. По стилю его работы с сотрудниками филиала ГОСНИТИ и опытного завода, об его обаянии и бережном отношении к людям молодежь говорила: «ОН – КАК ЛЕНИН!». В Целинном филиале ГОСНИТИ Владимир Матвеевич под научным знаменем основателя ГОСНИТИ академика Селиванова А.И., начал создавать новое научное направление - УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕХНИИ. В этом направлении, будучи с 1967года заведующим лабораторией диагностики машин головного ГОСНИТИ был решен ряд вопросов:

- особенности повышение надежности сельхоз машин за счет внедрения диагностирования,
- обоснования методов, средств и технологий диагностирования,
- организации диагностирования МТП АПК, во всех подразделениях его инженерной службы, переносными средствами, стационарными и передвижными комплексами

Теоретическая основа методов повышения надежности машин создавалась в решении таких задач:

- методы и приемы прогнозирования технического состояния и показателей надежности машин;
- прогнозирование безотказности и ресурса составных частей машин;
- оптимизация допускаемых при обслуживании и ремонте значений структурных и диагностических параметров состояния составных частей машин,
- оптимизация периодичности диагностирования машин для всех форм эксплуатации машин;

Проработанные основы теории и принципов управления надежностью машин позволили Владимиру Матвеевичу подготовить и внедрить рекомендации по практической их реализации в следующих аспектах:

- обеспечение максимальной вероятности безотказной работы машин,

- оптимизации видов и периодичности технического обслуживания машин,
- назначения сроков, видов и объемов ремонта машин;
- оптимизация издержек на техническое обслуживание и ремонт машин,
- оптимизация величины послеремонтного ресурса агрегатов машин при заданной вероятности безотказности;
- оптимизация расхода запасных частей путем управления значениями допускаемых величин параметров состояния деталей;
- управление техническим обслуживанием и ремонтом машин на предприятиях АПК.

Часть обоснованных рекомендаций для практического управления надежностью машин представлены в виде номограмм для ИТР инженерной службы АПК, а вершиной этому явилась комплексная автоматизированная компьютерная программа ТКРБО-НЭК, позволяющая решать основные задачи описанного управления. Теоретические и практические разработки Владимира Матвеевича использованы в фундаментальных положениях «Комплексной системы технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве», утвержденной пятью министерствами в сфере АПК. Самая большая лаборатория № 24 ГОСНИТИ стала ведущей организацией и координатором работ по диагностированию МТП с участием Киевского и других филиалов ГОСНИТИ, их КБ и опытных заводов. Производство средств вели БОЭЗ, ТОРЗ, ЦОЗ, а в Минприборе СССР ПО «Точэлектроприбор», БЗТО, Ужгородский машзавод. Созданы «ДИПС КИ-13940» (176 ед.), непревзойденный по функциональным возможностям «Машинотестер КИ-13950» (27 ед.), 1358 стендов диагностики колесных тракторов, несколько тысяч стендов контроля тяговых, тормозных и ходовых качеств автомобилей, десятки тыс. передвижных и стационарных установок, переносных комплектов, сотня мотор-тестеров, более 6 тыс. расходомеров топлива, 30200 расходомеров газов.

Разработаны основополагающие стандарты, руководства по диагностированию при всех видах ТО и ремонта МТП. Продолжают разработку и выпуск диагностических средств РГАУ-МСХА, ВИМ.

В 1970 году Владимир Матвеевич защитил докторскую диссертацию на тему «Теоретические основы прогнозирования технического состояния тракторов и сельскохозяйственных машин». В СССР, ГДР, Венгрии изданы 4 его книги. Под руководством Михлина В.М. защитились 42 канд. техн.наук. и три доктора наук. Такая напряженная работа не могла не сказываться на здоровье ученого и организатора диагностирования МТП. Владимиром Матвеевичем опубликовано более 200 научных работ, получено более 20 авторских свидетельств на изобретения. Сотруд ники ГОСНИТИ, его ученики, коллеги сельскохозяйственных вузов, НИИ инженерного профиля АПК навсегда запомнят обаяние, душевную щедрость и человеческий талант ученого Михлина Владимира Матвеевича, внесшего весомый вклад в научное и практическое обоснование технической эксплуатации МТП в нашей стране и за рубежом.

Главный специалист ВИМ. д.т.н.,
Лауреат Премии СМ СССР,
заслуженный горняк РФ ***Дунаев А.В.***

Главный специалист ВИМ. д.т.н.,
профессор, Лауреат Премии СМ СССР,
заслуженный деятель науки Р. Ф. ***Лялякин В.П.***

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.923

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Леонид Михайлович Акулович[1], доктор технических наук, профессор,
e-mail: leo-akulovich@yandex.ru;
Леонид Ефимович Сергеев[1], кандидат технических наук,
доцент кафедры;
Сергей Константинович Дубновицкий[2], магистр технических наук,
аспирант кафедры, директор;
Виктория Васильевна Шабуня[1], ассистент кафедры
[1] Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь;
[2]Пинский индустриально-педагогический колледж – филиал
Брестского государственного технического университета,
г. Пинск, Республика Беларусь

Реферат. *В результате коррозии металлические изделия теряют свои ценные технические свойства, поэтому важное значение имеет поиск способов ее замедления. Коррозионная стойкость деталей машин определяется показателями качества их поверхностей, которые формируются в основном на финишных операциях обработки. Перспективными способами финишной обработки поверхностей деталей становятся способы, основанные на использовании эластичной связки или незакрепленного абразива, к которым относится магнитно-абразивная обработка МАО. (Цель исследования) Обосновать эффективность магнитно-абразивной обработки деталей из легированных сталей для повышения их коррозионной стойкости по сравнению с токарной обработкой и шлифованием. (Материалы и методы) Экспериментальные исследования проводили на образцах колец подшипников (материал ШХ15 ГОСТ801-78) и закаточных роликов (материал Х12М ГОСТ 5950-73) после токарной обработки, шлифования и МАО. В ходе эксперимента кольца подшипника погружались в 20 процентный водный раствор NaCl при температуре 20 градусов Цельсии на 288 часов, закаточные ролики – в 10 процентный водный раствор NaCl при температуре 20 градусов Цельсии на 336 часов. При оценке коррозионной стойкости использовали качественные показатели – изменение внешнего вида поверхности металла. (Результаты и обсуждение) Сравнили интенсивность развития коррозии образцов в зависимости от времени погружения их в раствор после токарной обработки, шлифования и МАО. Сопоставили топографические характеристики поверхности после разных способов финишной обработки. Установили, что МАО обеспечивает наименьшую шероховатость поверхностей, что повышает их коррозионную стойкость. (Выводы) Магнитно-абразивная обработка повышает коррозионную стойкость поверхности внутреннего кольца подшипника в 1,83 раза, а закаточного ролика в 1,5 раза, при этом морфология и состав ФАП не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость.*

Ключевые слова: *кольца подшипников, закаточный ролик, магнитно-абразивная обработка.*

Для цитирования: *Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Дубновицкий С.К., Шабуня В.В. Коррозионная стойкость деталей из легированных сталей после магнитно-абразивной обработки // Технический сервис машин. N.1. С. 104-112*

CORROSIVE RESISTANCE OF THE ALLOYED STEEL DETAILS AFTER MAGNETIC ABRASIVE MACHINING

Leonid M. Akulovich[1], Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: leo-akulovich@yandex.ru;
Leonid E. Sergeev[1], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Sergey K. Dubnovitsky 2, master of technical Sciences,
post-graduate student, director;
Victoria V. Shabunya[1], assistant professor
[1]Belarusian state agrarian technical University, Minsk, Republic of Belarus;
[2]Pinsk industrial pedagogical College-branch of Brest state technical
University, Pinsk, Republic of Belarus

Abstract. *As a result of corrosion metal products lose the valuable technical properties that is why searching the ways of its deceleration is important. Corrosion resistance of automobile details is defined by the quality indicators of their surfaces, which are generally formed during the time of finishing processing operations. Perspective ways of finishing processing of the detail surfaces are the ways based on the use of an elastic adhesive or three-body abrasion to which magnetic abrasive machining refers. (Purpose of research) Proving the efficiency of magnetic abrasion machining of the alloyed steel details for increasing their resistance to corrosive attack. (Materials and methods) Experimental studies were conducted on the race rings (material ShH15 state standard specification 801-78) and seaming rolls (material H12M state standard specification 5950-73) samples after turning, grinding and magnetic abrasive machining. During the experiment the race rings were immersed in 20% aqueous NaCl solution at a temperature 20ºC for 288 hours, the seaming rolls – in 10% aqueous NaCl solution at a temperature 20ºC for 336 hours. When assessing the corrosive resistance the quality indicators were used – the changing visual appearance of the metal surface. (Results and discussion) The intensity of the corrosion development of the samples were compared depending on their immersion in solution time after turning, grinding and magnetic abrasive machining. Topographical features of surface after different ways of finishing processing were also equated. It was determined that magnetic abrasive machining provides the smallest roughness of surface that in its turn increases its resistance to corrosion attack. (Conclusions) Magnetic abrasive machining increases the corrosive resistance of a surface of an inner race by 1,83 times, and a seaming roll by 1,5 times, at the same time the morphology and structure of ferro abrasive powder have no significant effect on resistance to corrosive attack.*

Keywords: *race rings, seaming roll, magnetic abrasive machining.*

For citation: *Akulovich L.M., Sergeev L.E., Dubnovitsky S.K., Shabunya V.V. Corrosion resistance of alloy steel parts after magnetic abrasive treatment .Technical service of machines. 2019. N.1. 104-112 (In Russian).*

Введение. В результате коррозии металл теряет свои физико-механические свойства (прочность, пластичность), вследствие чего выходят из строя

оборудование, машины, механизмы, разрушаются металлические конструкции. Полностью предотвратить коррозию металлов невозможно, поэтому единственным путем борьбы с ней является поиск способов ее замедления [1].

В настоящее время борьбу с коррозией ведут сразу в нескольких направлениях – пытаются изменить среду, в которой работает металлическое изделие, повлиять на коррозионную устойчивость самого материала, предотвратить контакт между металлом и агрессивными веществами внешней среды. Коррозионную стойкость сталей можно повысить введением в их состав специальных легирующих элементов, нанесением защитных покрытий, пассивацией и т.п. [1]. Коррозионную стойкость деталей машин определяют показателями качества их поверхностей, которые формируются в основном на финишных операциях обработки. Показатели качества поверхности могут также зависеть и от предшествующих операций, т.к. при механической обработке имеет место технологическая наследственность [2, 3]. Одним из основных показателей качества поверхностей, влияющих на коррозионную стойкость, является шероховатость поверхности.

Рабочие поверхности деталей машин в зависимости от способа обработки имеет разную шероховатость [4]. Финишные способы обработки обеспечивают наименьшую шероховатость поверхностей, что повышает их коррозионную стойкость. В связи с этим возникает задача определить влияние шероховатости поверхностей, полученных разными способами обработки, на коррозионные свойства. Рассмотрим это влияние на примере внутреннего кольца подшипника и закаточного ролика. Классические способы финишной обработки поверхностей колец подшипников и закаточных роликов: шлифование, суперфиниширование [4, 5]. Указанные виды обработки сопровождаются рядом факторов (тепловые, износ абразивного инструмента и др.), которые приводят к снижению точности обработки, а также вызывают изменение физико-механических свойств поверхностного слоя, в частности, за счет появления неоднородности структуры и твердости [6, 7].

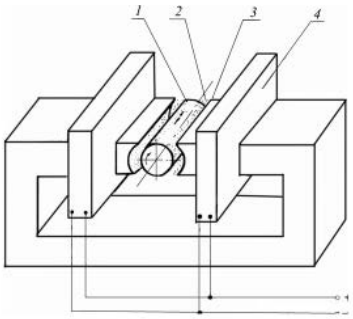


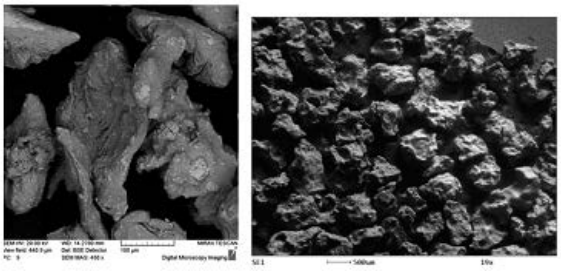
Рис. 1. Схема МАО наружных поверхностей тел вращения:
1 – обрабатываемая деталь; 2 – ферроабразивный порошок (ФАП); 3 – полюсные наконечники электромагнита; 4 – электромагнит

Эти факторы существенно снижают качество поверхностей деталей, и, как следствие, коррозионную стойкость. Одними из перспективных способов финишной обработки поверхностей деталей являются способы, основанные на использовании эластичной связки или незакрепленного абразива, к которым и относится магнитно-абразивная обработка (МАО) (рис. 1) [8]. Данный спо-

соб прост в осуществлении, экологически чист, обеспечивает высокое качество обработанных поверхностей деталей и существенное повышение их сопротивляемости износу, коррозии и механическим нагрузкам, обладает высокой производительностью и успешно конкурирует с процессами химической и электрохимической обработки [8, 9].

Цель исследования – обоснование эффективности магнитно-абразивной обработки деталей из легированных сталей для повышения их коррозионной стойкости по сравнению с токарной обработкой и шлифованием.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на образцах колец подшипников (материал ШХ15 ГОСТ801-78) и закаточных роликов (материал Х12М ГОСТ 5950-73) после токарной обработки, шлифования и магнитно-абразивной обработки. МАО проводили на станке модели СФТ 2.150.00.00.000. Параметры и режимы МАО: магнитная индукция ***B=1Тл***; скорость резания ***Vр=2,5 м/с;*** скорость осцилляции V_0***=0,2 м/с***; амплитуда осцилляции ***А=1 мм***; коэффициент заполнения зазора $к_з$***=1***; величина рабочего зазора *δ**=1 мм***; время обработки ***t =120 с***. Для МАО поверхности внутреннего кольца подшипника использовали ФАП – на основе боридов железа, зернистостью Δ=100/160 мкм, а для обработки поверхности закаточного ролика □ ***Ж15КТ*** на основе карбида титана ТУ 6-09-03-483-81, зернистостью Δ=100/160 мкм. Смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОТС) – СинМА-1 ТУ 38.5901176-91, 5% водный раствор. Исходная шероховатость поверхности кольца подшипника и закаточного ролика Ra_1***=0,8-1 мкм***. Морфология и форма частиц ФАП на основе боридов железа близка к ромбической форме и показана на рисунке 2а. Морфология и форма частиц ФАП на основе карбида титана близка к сферической форме и показана на рисунке 2б. Полученные данные по показателям коррозионной стойкости сравнивали с аналогичными параметрами при шлифовании [7].



а *б*

Рис. 2. Морфология ферроабразивного порошка на основе боридов железа: а) увеличение х100 и Ж15КТ; б) увеличение х500

Методика проведения эксперимента по определению коррозионной стойкости обработанных поверхностей внутреннего кольца подшипника включала ускоренные испытания при периодическом или полном погружении в 20%-й водный раствор NaCl при температуре 20°С на 288 часов, а закаточного ролика □в 10%-й водный раствор NaCl при температуре 20°С на 336 часов. Для оценки коррозионной стойкости использовали качественные показатели, такие как изменение внешнего вида поверхности металла [10]. При этом визуально оценивали цвет, потускнение поверхности; наличие и распределение видимых коррозионных дефектов и др. Для определения количества и местоположения дефектов применяли сетку-шаблон с квадратами 5×5 мм,

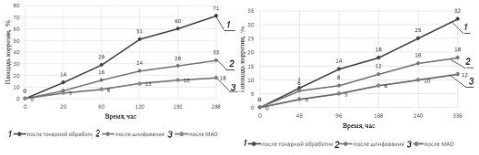
изготовленную из пластика, которую накладывали на испытуемый образец.

Результаты и обсуждения. На рисунках 3, 4 представлены фотографии колец подшипников и закаточного ролика, которые подвергались испытаниям на коррозионную стойкость. На фотографиях прослеживается кинетика развития коррозии на испытуемых образцах, обработанных методом МАО (рис. 3б, 3в,3г, 4б, 4в).

Рис. 3. Образцы внутреннего кольца подшипника, обработанного методом МАО и подвергнутого испытанию через определенное время: а – до начала эксперимента; б – через 120 часов; в – через 192 часа; г – через 288 часов

Рис. 4. Образцы закаточного ролика, обработанного методом МАО и подвергнутого испытанию через определенное время: а – до начала эксперимента; б – через 48 часов; в – через 336 часов; 1, 2 – очаги коррозии

Интенсивность развития коррозии представлена графиками зависимостей при различных методах обработки (рис. 5). Вместе с тем на развитие коррозии может оказывать влияние технологическая наследственность, поэтому в исследованиях учитывали и интенсивность коррозии после токарной обработки.



а) *б)*

Рис. 5. График интенсивности развития коррозии образцов в зависимости от времени погружения их в раствор: а) – кольца подшипника; б) – закаточного ролика

В процессе обработки деталей на их поверхности формируются неровности □ отклонения от геометрической формы (волнистость, шероховатость и др.), которые и определяют топографию поверхности. Топография обработанных поверхностей зависит от способа механической обработки, геометрии инструмента, режимов резания. На рисунке 6 представлены топографии поверхностей после токарной обработки (рис. 6а), после шлифования (рис. 6б) и МАО (рис. 6в).

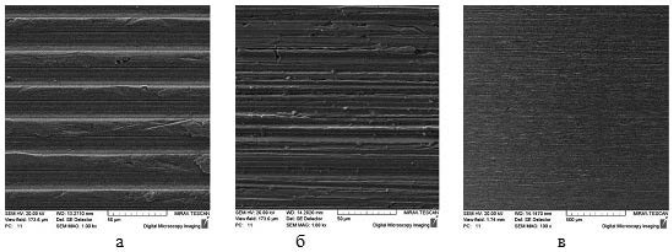
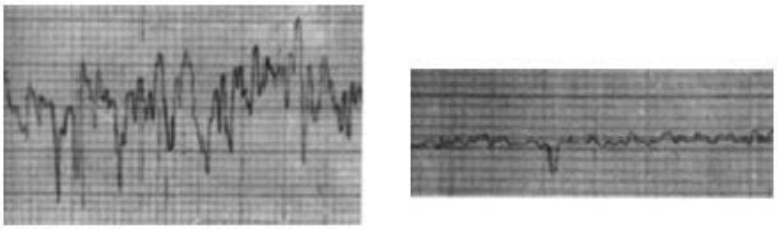


Рис. 6. Топографии поверхностей исследуемых образцов: а) – после токарной обработки; б) – после шлифования; в) – после МАО (увеличение х50)

На рисунке 7 представлены профилограммы поверхностного слоя после шлифования и МАО.

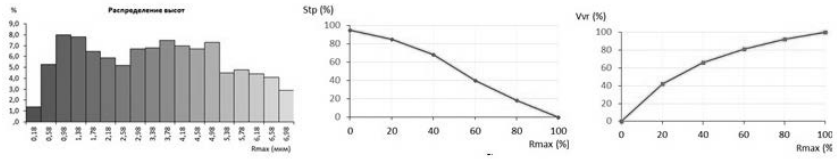


а *б*

Рис. 7. Профилограммы поверхностного слоя кольца подшипника: а) – после шлифования; б) – после МАО

На поверхности после токарной обработки (рис. 6а) остались неровности в виде впадин и гребешков. Шероховатость поверхности зависит от режимов обработки, геометрии режущей кромки инструмента и т.д.

Гистограмма (рис. 8а) показывает распределение высот неровностей, близкое к гауссовскому, что подтверждается также значениями асимметрии.



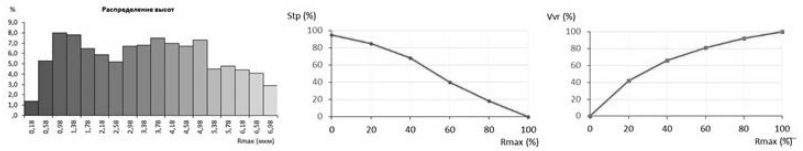
а) *б)* *в)*

Рис. 8. Топографические характеристики поверхности после токарной обработки: а) – гистограмма распределения высот; б) – опорная кривая поверхности; в) – маслоемкость

Значение параметра Ra при точении может варьироваться весьма существенно, поскольку оно зависит от формы режущей кромки резца, глубины резания и отношению подачи к частоте вращения заготовки [11].

Как видно из графиков маслоемкости (рис. 8в), при трении такой поверхности происходит достаточно быстрое удаление гребешков неровностей (до 50% от общей высоты), после чего наступает некоторая стабилизация. Впадины, возникающие в образце, достаточно узкие и строго ориентированы поперек направлению движения инструмента [11].

Характер неровностей и профилограмма поверхности после шлифования (рис. 6б, 7а) представляет собой множество параллельно расположенных царапин, произведенных абразивными зернами, находящимися на периферии шлифовального круга. Зерна, участвующие в процессе шлифования, имеют разную степень износа, что приводит к неоднородности получаемой шероховатости поверхности. Новые зерна, не подвергнувшиеся износу, производят резание поверхности. Поскольку инструмент для правки шлифовальных кругов придает поверхности шлифовального круга ярко выраженную направленную структуру, то совместно с траекторией движения шлифовального круга это определяет анизотропность получаемой поверхности (рис. 9). Особенностью шлифования является наличие на поверхности четко выраженных впадин. Данные впадины создаются острыми зернами, копирующими свой профиль на поверхность. График опорной кривой обработанной поверхности приведен на рисунке 9б.



а) *б)* *в)*

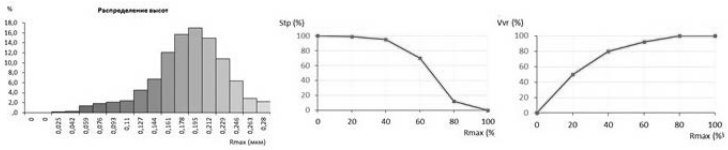
Рис. 9. Топографические характеристики поверхности после шлифования: а) – гистограмма распределения высот; б) – опорная кривая поверхности; в) – маслоемкость

Поскольку шлифовальный круг вращается с высокой скоростью, индивидуальные контактные взаимодействия накладываются друг на друга и совмещаются, включая резание, адгезионный и абразивный износ, пластическую деформацию и трещинообразование, одновременно происходящие на всей обрабатываемой поверхности. Следствием такого комплексного взаимодействия является близкая к гауссовской структура поверхности с редкими впадинами, оставляемыми единичными абразивными зернами [11].

В процессе МАО поверхность формируется частицами ФАП приблизительно равного размера, контактирующими с поверхностью в различных местах и под произвольным углом. Количество единичных взаимодействий, приходящихся на участок поверхности, определяет глубину образующейся на нем впадины. Характер неровностей и профилограмма поверхности после МАО (рис. 6в, 7б) имеет случайный характер не только по площади, но и по амплитуде.

Гистограмма распределения высот (рис. 10а) показывает гауссовскую природу поверхности. Опорная кривая поверхности (рис. 10б) имеет плав-

ный переход от зоны незначительного контакта в зону развитого контакта, что является полезным ее свойством с точки зрения трибологии [11].



а) *б)* *в)*

Рис. 10. Топографические характеристики поверхности после МАО: а) – гистограмма распределения высот; б) – опорная кривая поверхности; в) – маслоемкость

После МАО на поверхности остаются единичные микровпадины. Они имеют случайные координаты по горизонтали и размеры, однако их форма приблизительно одинакова. Это показывает одновременно множественный характер взаимодействий и случайное их распределение [11].

Выводы. В ходе исследований установлено, что образец кольца подшипника после МАО, выдержавший 228 часов испытаний в 20% растворе NaCl, имеет 18% коррозионных поражений на поверхности (коррозия была выявлена лишь на рабочем участке внутреннего кольца подшипника), а образец закаточного ролика, выдержавший 336 часов испытаний в 10% растворе NaCl, имеет 12% коррозионных поражений на поверхности. Анализ результатов эксперимента показывает, что МАО повышает коррозионную стойкость поверхности внутреннего кольца подшипника в 1,83 раза, а закаточного ролика в 1,5 раза, при этом морфология и состав ФАП не оказывают существенного влияния на коррозионную стойкость.

Библиографический список

1. Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М.: Металлургия. 1989. 101 с.

2. Горленко О.А. Технологическое обеспечение геометрических параметров качества поверхности на основе учета закономерностей технологической наследственности. В кн.: Метрология и свойства обработанных поверхностей. М.: Изд-во стандартов. 1977. 171 с.

3. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. Минск: Наука и техника. 1971. 210 с.

4. Зрунек М. Противокоррозионная защита металлических конструкций. М.: Машиностроение. 1984. 135 с.

5. Ящерицын П.И., Цокур А.К., Еременко М.Л. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей. Минск: Наука и техника. 1973. 179 с.

6. Захаров О.В. Технология и оборудование бесцентрового суперфиниширования: учеб. пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. 2007. 96 с.

7. Игнатьев С.И. Обеспечение качества обработки поверхностей качения колец подшипников на основе контроля динамического состояния шлифовальных станков по стохастическим характеристикам виброакустических колебаний: автореф. дис.канд.техн.наук. Саратов: Саратовский государственный технический университет. 2001.

8. Барон Ю.М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. Л.: Машиностроение. 1975. 128 с.

9. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Минск: Наука и техника. 1995. 232 с.

10. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости ГОСТ 9.908-85. Введ. 01.01.1987. М.: ИПК Издательство стандартов. 1999. 17 с.

11. Порошин В.В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей. М.: Машиностроение-1. 2007. 196 с.

References

1. Mikhailovsky Yu.N, Atmospheric corrosion of metals and methods of their protection. Moscow: Metallurgy. 1989. 101.

2. Gorlenko O. Technological support of geometrical quality parameters of a surface on the basis of the account of laws of technological heredity. Moscow: Publishing Standards. 1977. 171.

3. Yascheritsyn P.I. Technological heredity and operational properties of polished parts. Minsk: Science and technology. 1971. 210.

4. Zrunek M. Corrosion protection of metal structures. Moscow: Mechanical engineering. 1984. 135.

5. Yascheritsyn P.I., Tsokur A.K., Eremenko M.L. Thermal phenomena during grinding and properties of treated surfaces. Minsk: Science and Technology. 1973. 179.

6. Zakharov O.V., Technology and equipment of centripetal superfinishing: Textbook. Saratov: Sarat. state tech. Univ. of Illinois. 2007. 96.

7. Ignatiev S.I., Maintenance of quality of processing of surfaces of rolling of bearings of rings on the basis of control of dynamic condition of grinding machines on stochastic characteristics of vibroacoustic oscillations, author's abstract Dis ... Cand.techn. Science. Saratov: Saratov State Technical University. 2001.

8. Baron Yu.M., Technology of abrasive treatment in a magnetic field. Leningrad: Mechanical engineering. 1975. 128.

9. Kzhuro L.M., Chemezov B.P. Machining of machine parts in a magnetic field. Minsk: Science and Technology. 1995. 232.

10. Uniform anti-corrosion and aging system. Metals and alloys. Methods of determination of corrosion and corrosion resistance parameters GOST 9.908-85. Moscow: IPK Publishing Standards. 1999. 17.

11. Poroshin V.V. Fundamentals of complex control of surface topography of parts. Moscow: Mechanical Engineering-1. 2007. 196.

УДК 621.791: 624.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКЕ

[1] Павел Иванович Бурак, доктор технических наук, профессор доцент;
[2]Рашит Абдулхакович Латыпов, доктор технических наук, профессор;
[1]Антон Вячеславович Серов, кандидат технических наук, доцент;
[1]Никита Вячеславович Серов, кандидат технических наук
[1]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
[2]Московский политехнический университет, spreiz2@inbox.ru

Реферат. *Создание аппаратно-программных комплексов, позволяющих анализировать данные, поступающие от датчиков, оператора или других, в том числе справочных сетевых источников с последующим использованием результатов анализа при выборе параметров процессов, на сегодняшний момент является востребованным для процессов упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных машин. (Цель исследования) Расширение применения цифровых технологий в процессах ремонта, восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин методом электроконтактной приварки. (Материалы и методы) Использовали метод математического моделирования, а также компьютерные языки программирования «Си-шарп» и «Visual Basic 6.0» для создания компьютерных программ. (Результаты и обсуждение) Получили уравнения регрессии при помощи программы SPSS Statistics для прогнозирования прочности соединения присадочного материала ленты 50ХФА с основой из стали 45 и величину деформации ленты ε в зоне термического влияния $Z_{зтв}$. Разработали компьютерные программы «Расчетно-экспериментальная оценка выбора оптимального режима электроконтактной приварки» на языке «Си-шарп» для проверки полученных уравнений регрессий и «Оптимальные режимы электроконтактной приварки металлической ленты с использованием промежуточного слоя на основе высокоактивных аморфных лент», которая позволяет автоматически рассчитывать скорость (частоту) вращения детали, сварочный ток, время протекания импульса, подачу и усилие сжатия роликовых электродов, расход охлаждающей жидкости, а также оценить зону термического влияния и прочность соединения покрытия с основой. (Выводы) Применение цифровых технологий в процессах упрочнения и восстановления деталей машин различными методами позволит значительно повысить качество получаемых покрытий и снизить их трудоемкость. Определили, что оптимальной величиной деформации стальной ленты, при которой прочность соединения покрытия с основой является равнопрочной одному из соединяемых металлов, является ε = 30-35 процентов.*

Ключевые слова: *Цифровые технологии, получение покрытий, ремонт, электроконтактная приварка, стальная лента, оптимизация режимов.*

Для цитирования: *Бурак П.И., Латыпов Р.А, Серов А.В., Серов Н.В. Использование цифровых технологий при исследовании и моделировании процессов, протекающих при электроконтактной приварке // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 113-121.*

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN CASE OF A RESEARCH AND SIMULATION OF THE PROCESSES PROCEEDING IN CASE OF AN ELECTROCONTACT WELDING

Pavel I. Burak[1], Dr.Sc(Eng.), professor, associate professor;
Rashit L. Abdulhakovich[2], Dr.Sc(Eng.), professor;
Anton V. Serov[1], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Nikita V. Serov[1], Ph.D.(Eng.),spreiz[2]@inbox.ru
[1]Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation;
[2]Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Creation of hardware and software systems that allow analyzing the data received during the execution of processes from sensors, operator or others, including network reference sources, and then using the results of analysis when assigning process parameters is currently in demand for hardening processes and restoring agricultural machinery parts. (Purpose of research) Expansion of the use of digital technologies in the processes of repair, restoration and hardening of parts of agricultural machines by the method of electrocontact resistance welding. (Materials and method) To achieve this purpose, an analysis of literary sources was carried out, using the method of mathematical modeling. To create computer programs used computer programming languages "C#" and "Visual Basic 6.0". (Results and discussion) With the help of SPSS Statistics, the obtained regression equations were used to predict the strength of the joint of the filler material of steel 50ХФА tape with the basis of steel 45 and the tape deformation ε and the heat affected zone $Z_{зтв}$. To verify the obtained regression equations, computer programs "Calculation and experimental evaluation of the choice of the optimal mode of electrocontact resistance welding" were developed in the C# language. The program "Optimal modes of electrocontact resistance welding of metal tape using an intermediate layer based on highly active amorphous ribbons" has been developed, which allows you to automatically calculate the speed (frequency) of a part's rotation, welding current, pulse time, feed and compression force of roller electrodes, coolant flow, and also evaluate the heat-affected zone and the strength of the coating compound with the base. (Conclusion) The use of digital technologies in the processes of hardening and restoration of machine parts using various methods will significantly improve the quality of the coatings obtained and reduce their labor intensity. It is definitely that the optimum amount of deformation of the steel tape, at which the strength of the coating connection with the base is equal to one of the metals being joined, is ε = 30-35%.*

Keywords: *Digital technology, receiving coverings, repair, electrocontact resistance welding, steel tape, mode optimization.*

For citation: *Burak P.I., Latypov R.A, Serov A.V., Serov N.V. The use of digital echnologies in the study and modeling of processes occurring during electric welding. Technical service of machines. 2019. N.1. 113-121.(In Russian).*

Введение. Цифровые технологии в обеспечении надежности сельскохозяйственной техники, как практически и в любой другой отрасли давно стали неотъемлемой частью. Их использование начинается на этапе проектирования в системах автоматизированного проектирования (CAD-системах), продолжается при дальнейшем прототипировании и создании промышленных образцов. Повсеместное использование CAD-систем позволит значительно понизить трудоемкость работ по подготовки документации, а поскольку моделирование обработок происходит внутри системы, то и предотвратить брак и аварии оборудования при изготовлении и восстановлении сборочных единиц. В процессе получения электронного экземпляра (чертежа, модели, документации), обмен рабочими версиями между специалистами в среде интернета как со стационарных компьютеров, так и с мобильных устройств позволяет значительно повышать скорость реагирования работающего коллектива на внесение требуемых изменений. Облачное хранение данных позволяет специалисту или группе специалистов иметь доступ к постоянно обновляемой версии файла с любого рабочего места, имеющего доступ в интернет. Особенно перспективным является применение Блокчейн (Blockchain). На сегодняшний момент использование цифровых технологий, в том числе и аддитивных, происходит и при последующем упрочнении и/или восстановлении деталей.

Цель исследования – расширить применение цифровых технологий в процессах ремонта, восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин методом электроконтактной приварки.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели провели анализ литературных источников. Расчетные формулы получили, используя метод математического моделирования, на основании экспериментально полученных данных, а также применения языков программирования для создания компьютерных программ.

Результаты и обсуждение. В настоящее время методами прототипирования, основанными на аддитивных технологиях, являются: лазерная стереолитография (SLA), лазерное сплавление (SLM), ламинирование (LOM), застывание материала при охлаждении (FDM), полимеризация фотополимерного пластика под действием ультрафиолетовой лампы (DLP), склеивание или спекание порошкообразного материала (SLS), печать песком литейных форм. Технологией, широко используемой при ремонте, упрочнении и получении функциональных покрытий на деталях сельскохозяйственных машин, является электроконтактная приварка [1].

Поскольку у существующих методов прототипирования есть определенные ограничения, в том числе и по применяемым материалам, автором предложен способ трехмерной печати металлическими смесями порошкообразных материалов электроконтактным способом [2]. Предложенный способ во многом схож с перечисленными выше, однако важным его отличием является то, что спекание слоев порошка происходит за счет пропускания через прижимаемый к слою порошка электрод электрического тока, при этом в зоне контакта происходит сварка. Сама сварка может осуществляться не только торцевой, но и боковой поверхностью электрода. В зону сварки может подаваться защитный или охлаждающий газ или жидкость, что позволяет производить одновременную закалку получаемых изделий. В качестве порошкообразных материалов могут использоваться токопроводящие металлы и их сплавы, а также композиции керамических порошков.

Процессы, связанные с электроконтактной приваркой металлов, можно охарактеризовать с помощью математических моделей. Такое моделирование положено в основу метода математического планирования экспериментов. Применяя его, можно значительно сократить объем экспериментальных работ, необходимых для оптимизации основных параметров процесса электроконтактной приварки и установления зависимости конечных свойств покрытия от этих параметров.

Электроконтактная приварка представляет собой совокупность сложных физико-химических процессов, а именно: взаимной диффузии элементов привариваемых материалов, микро- и макропластической деформации деталей, процессов массообменна между свариваемыми материалами, которые по-разному протекают при изменении параметров процесса (температуры, сварочного давления, времени действия импульса тока и др.).

Важным условием получения покрытий с заданными свойствами и обеспечения их высокой работоспособности является оптимизация процесса электроконтактной приварки путем определения наиболее благоприятных сочетаний параметров рабочего режима. Для этого необходимо количественное описание процесса электроконтактной приварки.

Однако влияние большого числа параметров на процесс электроконтактной приварки не может быть учтено в аналитической форме. Например, механические свойства покрытия зависят от мощности источника теплоты, приложенного давления, перекрытия сварочных площадок, состава и свойств соединяемых материалов. В этих условиях трудно однозначно оценить влияние каждого конкретного параметра и тем более совместное влияние всех параметров процесса на качество соединения покрытия с деталью.

При изучении влияния указанных параметров на процесс формирования соединения при электроконтактной приварке обычно рассматривают изменение лишь одного из них, тогда как остальные должны быть постоянными. Однако при проведении экспериментов в большинстве случаев некоторые параметры невозможно сохранить без их изменения, вследствие чего вносятся значительные погрешности в результаты исследований.

Основными факторами, влияющими на процесс электроконтактной приварки лент с использованием промежуточного слоя из металлических порошков, являются мощность источника теплоты $Q=\eta UJt_и$ ***(кДж)*** (η – ***КПД*** процесса электроконтактной приварки, %; ***U*** – напряжение, ***В; J*** – сила тока, ***кА***; ti – длительность импульса, с; усилие сжатия электродов ***P (кН)***; скорость охлаждения ω ***(°С/с)***. Для определения влияния данных факторов на свойства получаемых покрытий авторами [3], как и другими исследователями при оптимизации технологических процессов восстановления и упрочнения использовалась известная методика многофакторного эксперимента. Обработка результатов эксперимента включала: кодирование факторов, составление плана матрицы эксперимента, реализацию плана эксперимента, проверку воспроизводимости опытов, проверку адекватности модели, оценку значимости коэффициентов регрессии.

Для проверки полученных уравнений регрессии и исключения человеческой ошибки использовали компьютерные программы SPSS Statistics for Windows. Коэффициенты регрессии, полученные авторами и рассчитанные в программе SPSS, совпали, что подтверждает отсутствие ошибок в проведенных расчетах.

Последняя версия программы SPSS Statistics была выпущена в сентябре

2013 г., что во многом объясняет появление он-лайн сервисов, позволяющих производить вычисление коэффициентов регрессии, решение степенных уравнений, дифференцирование и интегрирование. Это приводит к значительной экономии времени при научных исследованиях и инженерных расчетах; опасность составляет надежность подобных сервисов.

Авторами получены уравнения регрессии для прогнозирования прочности соединения присадочного материала ленты 50ХФА с основой из стали 45 [3]:

$$\tau = -284{,}17 + 4475Q + 24{,}58P + 0{,}0015\,\omega,$$

где Q – мощность источника теплоты, ***Дж/с***; P – усилие сжатия электродов, ***кН***; ω– скорость охлаждения, ***°С/с***

При тарировании усилия сжатия, Р полученные по динамометру результаты, обрабатывались в программе Exel, там же строились графики, в полученных графиках добавлялись линии и уравнения тренда, подстановка в которые давления воздуха в системе привода сжатия электродов, давала абсолютное значение усилия сжатия.

Аналогичные расчеты проводили по величине деформации ленты ε и зоне термического влияния $Z_{зтв}$. В результате были получены следующие уравнения регрессии:

$$\varepsilon = -2{,}814 + 269{,}96Q - 2{,}23P - 0{,}0016\,\omega.$$
$$Z_{зтв} = 0{,}064 + 2{,}396Q - 0{,}009P - 7{,}33\ 10\text{-}6\,\omega$$

Для проверки полученных уравнений регрессий разработали компьютерную программу «Расчетно-экспериментальная оценка выбора оптимального режима электроконтактной приварки» на языке «Си-шарп» (рис. 1) (4-5).

На схеме оператор ввода уравнений регрессии помечен цифрой 1. В операторе 2 происходит синтаксический анализ введенных формул. В операторе 3 происходит компиляция исполняемого модуля вычислений в памяти. Если в операторе 4 происходит ошибка, то она отображается пользователю в операторе 8, и требует от него проверку правильности введенных выражений для расчета. Если в операторе 4 компиляция прошла успешно, то пользователю предоставляется возможность вводить значения (оператор 5) подставляемых в формулы переменных и производить расчет при этих значениях (оператор 6).

Результаты вычислений сразу же отображаются пользователю на форме программы (рис. 1).

Увеличение ε деформации стальной ленты до 30% приводит к увеличению τ и $Z_{зтв}$, причем τ соединения покрытия с основой при $°\varepsilon = 30\text{-}35\%$ равнопрочно основному металлу (стали 45), а $Z_{зтв}$ не превышает 0,4-0,41 мм.

Поэтому полученные результаты целесообразно представить в виде зависимости прочности соединения покрытия с основой и глубины зоны термического влияния от величины ε стальной ленты (рис. 2).

С учетом диаметра детали и имея в виду, что оптимальной величиной деформации стальной ленты, при которой τ соединения покрытия с основой равнопрочно одному из соединяемых металлов, является $\varepsilon = 30\text{-}35\%$, эти зависимости можно использовать при назначении технологии восстановления и упрочнения деталей электроконтактной приваркой стальной ленты с использованием промежуточного слоя из порошкового материала [6-7].

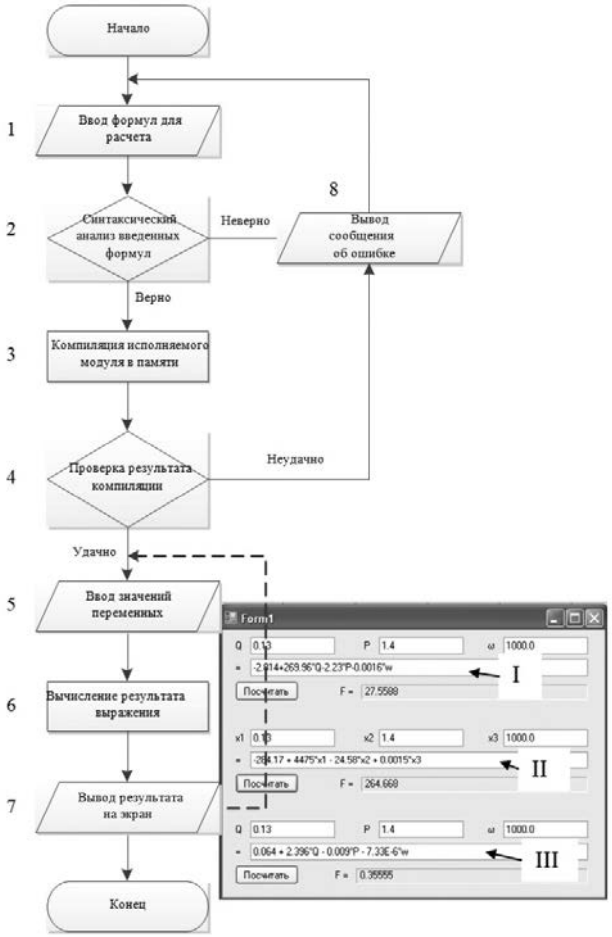


Рис. 1. Компьютерная программа «Расчетно-экспериментальная оценка выбора оптимального режима электроконтактной приварки»

(Анализ результатов расчета и экспериментальных данных показал зависимость τ и $Z_{зтв}$ от величины деформации ε стальной ленты, которую легко контролировать как в процессе электроконтактной приварки, так и после)

Оптимальным коэффициентом перекрытия между сварочными площадками в ряду $k_{Пп}$ и между рядов приварки $k_{ПS}$ является $k_{Пп} = k_{ПS} = 0,71$ [3]. Под коэффициентом перекрытия понимают отношение пути, пройденного деталью за время паузы (или расстояние между рядами приварки), к размеру сварочной точки в рассматриваемом направлении. Для выявления оптимальных параметров электроконтактной приварки и оценки их влияния на свойства получаемых покрытий по математическим моделям, полученным в исследованиях [8-10], разработали компьютерную программу «Оптимальные режимы электроконтактной приварки металлической ленты с использованием промежуточного слоя на основе высокоактивных аморфных лент» на языке программирования «Visual Basic 6.0» (рис. 3) [11]. Программа работает следующим образом. После запуска на дисплее компьютера отображается окно программы, пользователь может начать ввод данных, непосредственно заполняя поля ввода (рис. 3, «Ввод данных») или через «Меню» программы выбрать параметр «Автозаполнение» («Выбор варианта ввода

данных») после чего на дисплее будет представлен пример расчета с возможностью дальнейшего редактирования. После ввода и редактирования идет проверка исходных данных («Проверка данных»), при обнаружении некорректных значений выводится сообщение с указанием ошибки. Если данные удовлетворяют исходным условиям, программа ведет расчет режимов («Расчет режимов»), затем производит проверку полученных режимов.

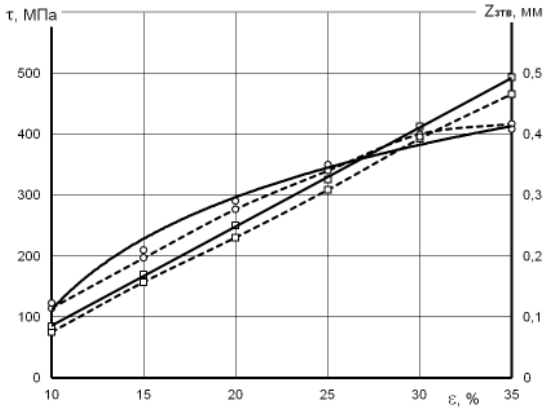


Рис. 2. Зависимость прочности соединения покрытия с основой и глубины зоны термического влияния от величины деформации стальной ленты при электроконтактной приварке с использованием промежуточного слоя из металлического порошка: □ – прочность соединения покрытия с основой; ○ – глубина зоны термического влияния; -- расчетные; – экспериментальные данные

При выявлении несоответствия выводится сообщение об ошибке; если данные удовлетворяют условиям, происходит расчет выходных параметров процесса приварки ленты и их проверка («Проверка результатов», «Расчет выходных параметров», «Анализ параметров»). После этого на дисплее компьютера отображаются расчетные режимы приварки и выходные параметры процесса. Представленная программа позволяет автоматически рассчитывать скорость (частоту) вращения детали, сварочный ток, время протекания импульса, подачу и усилие сжатия роликовых электродов, расход охлаждающей жидкости, а также оценить зону термического влияния и прочность соединения покрытия с основой.

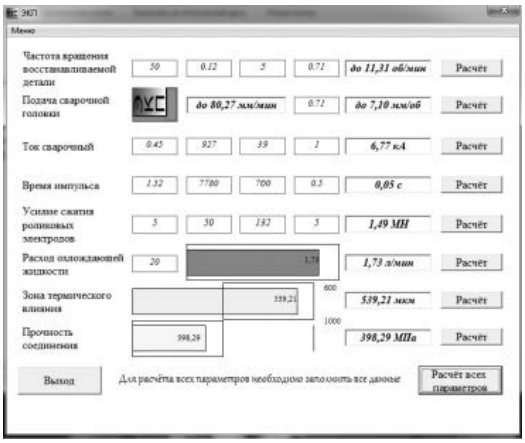


Рис. 3. Отображение программы на экране компьютера

Выводы. Из вышесказанного можно сделать вывод, что востребованным для процессов упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных машин является создание аппаратно-программных комплексов, позволяющих проводить анализ данных, поступающих при выполнении процессов от датчиков, оператора или других, в том числе справочных сетевых источников, с последующим использованием результатов анализа при назначении параметров процессов. Программа использует полученные результаты для управления исполняющими устройствами, обеспечивающими непосредственную обработку деталей, а также для прогнозирования получаемых при этом свойств. Появляется возможность удаленного и (или) совместного управления и (или) контроля, аналогично блокчейн.

Библиографический список

1. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Латыпов Р.А. Способ утилизации отходов из углеродистых, легированных и быстрорежущих инструментальных сталей электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 111-115.

2. Сайфуллин Р.Н. Способ трехмерной печати металлами и смесями порошкообразных материалов электроконтактным способом // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 282-286.

3. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И. Определение технологических параметров электроконтактной приварки при восстановлении и упрочнении плоских поверхностей/ // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2017. N1. С. 35-40.

4. Свидетельство № 2011612424 от 23 марта 2011 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчетно-экспериментальная оценка выбора оптимального режима электроконтактной приварки / П.И. Бурак, С.И. Науменко; правообладатель Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина; № 2011610465; заявл. 26.01.2011; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23.03.2011.

5. Бурак П.И. Программа для оценки режимов электроконтактной приварки // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 108. С. 257-259.

6. Бурак П.И. Оценка прочности соединения покрытия с основой при электроконтактной приварке // Роль молодых ученых в реализации национального проекта «Развитие АПК»: сб. Международной науч.-практ. конф.: в 2-х ч. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина. 2007. Ч. I. С. 152-157.

7. Бурак П.И., Латыпов Р.А. Применение промежуточного слоя из порошкового материала при электроконтактной приварке стальной ленты // Перспективы развития агропромышленного комплекса России: сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф.: в 2-х ч. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина. 2008. Ч. I. С. 71-80.

8. Бурак П.И., Серов А.В. Методика определения параметров электроконтактной приварки компактных материалов через аморфную

ленту // Международный научный журнал. 2011. Вып. 2. С. 81-86.

9. Бурак П.И., Серов А.В., Латыпов Р.А. Оптимизация процесса электроконтактной приварки металлической ленты через аморфный

припой // Технология машиностроения. 2011. Вып. 7. С. 35-40.

10. Бурак П.И., Серов А.В. Оптимизация процесса электроконтактной приварки металлической и аморфной лентой с использованием статистического моделирования // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. Горячкина. 2011. Вып. 1. С. 59-61.

11. Свидетельство № 2012615912 от 28 июня 2012 г. о государственной регистрации программы для ЭВМ. Параметризация процесса электроконтактной приварки / А.В. Серов, П.И. Бурак, Н.В. Серов; заявители и патентообладатели

А.В. Серов, П.И. Бурак, Н.В. Серов; № 2011619999; заявл. 15.04.2015; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.06.2015.

References

1. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Latypov R.A. Sposob utilizatsii otkhodov iz uglerodistykh, legirovannykh i bystrorezhushchikh instrumental'nykh staley elektrokontaktnoy privarkoy [Method of recycling waste from carbon, alloyed and high-speed tool steels by electrocontact welding]. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 127. 111-115.

2. Saifullin R.N. Method of three-dimensional printing with metals and mixtures of powdered materials by the electrocontact method. Proceedings of GOSNITI. 2015. Vol. 121. 282-286.

3. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I. Determination of technological parameters of electrocontact welding during restoration and hardening of flat surfaces. Bulletin of FGOU VPO MSAU. 2017. N1. 35-40.

4. Certificate No. 2011612424 of March 23, 2011 on the state registration of the computer program. Calculated and experimental evaluation of the choice of the optimal mode of electric-contact welding / P.I. Burak, S.I. Naumenko; right holder Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin; No. 2011610465; declare 01.26.2011; registered in the Register of computer programs 23.03.2011.

5. Burak P.I. A program for assessing the modes of electrocontact welding. Proceedings of GOSNITI. 2011. Vol. 108. 257-259.

6. Burak P.I. Assessment of the strength of the coating compound with the base during electro-contact welding // The role of young scientists in the implementation of the national project "Development of the AIC": Sat. International scientific-practical. conf.: in 2 hours. Moscow: Mosk. state agro engineer. un-t them. V.P. Goryachkina. 2007. Part I. 152-157.

7. Burak P.I., Latypov R.A. Application of an intermediate layer of powder material during the electric-contact welding of a steel tape // Prospects for the development of the agro-industrial complex of Russia: collection of articles. materials of All-Russian scientific and practical. conf.: in 2 hours. Moscow: Mosk. state agro engineer. un-t them. V.P. Goryachkina. 2008. Part I. 71-80.

8. Burak P.I., Serov A.V. Methods of determining the parameters of electrocontact welding of compact materials through an amorphous ribbon. International Scientific Journal. 2011. Vol. 281-86.

9. Burak P.I., Serov A.V., Latypov R.A. Optimization of the process of electrocontact welding of a metal tape through amorphous solder. Tekhnologiya Mashinostroeniya. 2011. Vol. 7 35-40.

10. Burak P.I., Serov A.V. Optimization of the process of electrocontact welding of metal and amorphous ribbons using statistical modeling. Bulletin of FSEI HPE MSAU im. Goryachkina. 2011. Vol. 1. 59-61.

11. Certificate No. 2012615912 of June 28, 2012 on the state registration of the computer program. Parametrization of the process of electrical contact welding / A.V. Serov, P.I. Burak, N.V. Serov; Applicants and patent holders A.V. Serov, P.I. Burak, N.V. Serov; № 2011619999; declare 04.05.2015; registered in the Register of computer programs 28.06.2015.

УДК 621.43:681.51

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Илдар Исмагилович Габитов, доктор технических наук, профессор,e-mail: gabitov@bsau.ru;
Андрей Владимирович Неговора, доктор технических наук, профессор;
Махмут Магдутович Рязапов, кандидат технических наук;
Дмитрий Александрович Гусев, кандидат технических наук
Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. *Эксплуатация автотракторной техники в условиях низких температур затруднена. Наиболее эффективным методом подготовки техники к зимним нагрузкам является тепловая обработка агрегатов. (Цель исследования) Выявить конструктивно-режимные параметры средств тепловой подготовки и описать взаимодействие потока теплоносителя с нагреваемым объектом. (Материалы и методы) Выявлены факторы, влияющие на теплопередачу, предложено выполнить моделирования в программной среде FlowVision. Проведено моделирование процесса разогрева поддона картера двигателя СМД-60 в программе «CD Adapco Star CCM». Представлена схема экспериментальной установки. (Результаты и обсуждение). Экспериментальные данные с достаточной точностью подтвердили расчетные значения оптимальных параметров, полученные моделированием. (Выводы) Наиболее эффективным способом тепловой подготовки высокотехнологичных агрегатов является их объемный обогрев потоком теплоносителя с пониженной до 150°С температурой. Обоснованы конструктивно-режимные параметры средств тепловой подготовки: для обеспечения минимального времени тепловой подготовки агрегатов теплоносителем с низкой температурой. Установлено, что при тепловой мощности подогревателя равной 15 кВт оптимальная скорость потока равна 2 метров в секундку, а расход воды для образования теплоносителя смешанного типа около 0,17 л/мин.*

Ключевые слова: *автотракторная техника, тепловая подготовка, информационная модель подогрева, газовоздушная смесь, теплоноситель смешанного типа.*

Для цитирования: *Габитов И.И., Неговора А.В., Разяпов М.М., Гусев Д.А. Оптимизация процесса тепловой подготовки сельскохозяйственной техники в условиях низких температур // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 122-130.*

DIGITAL OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF THERMAL PREPARATION OF AGRICULTURAL MACHINERY AT LOW TEMPERATURES

Ildar I. Gabitov, Dr.Sc(Eng.), professor, e-mail: gabitov@bsau.ru;
Andrey V. Negovora, Dr.Sc(Eng.), professor;
Makhmut M. Razyapov, Ph.D.(Eng.);
Dmitry A. Gusev, Ph.D.(Eng.)
Bashkir state agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. *Operation of automotive equipment at low temperatures is difficult. The most effective method of preparation of equipment for winter loads is heat treatment of units. (The purpose of the study) to Identify the design and operating parameters of the means of heat treatment and describe the interaction of the coolant flow with the heated object. (Materials and methods) Revealed the factors affecting heat transfer, it is proposed to perform a simulation in the software environment is Studied. The modeling of the heating process of the sump sump SMD-60 in the program "CD Adapco Star CCM". The scheme of the experimental setup is presented. (Results and discussion). Experimental data with sufficient accuracy confirmed the calculated values of the optimal parameters obtained by simulation. (Conclusions) the most effective way of heat treatment of high-tech units is their volumetric heating by coolant flow with a temperature reduced to 150°C. The design-regime parameters of the means of thermal preparation are substantiated: to ensure a minimum time of thermal preparation of the units by a coolant with a low temperature. It is established that at the heater thermal power equal to 15 kW, the optimal flow rate is 2 meters per second, and the water flow rate for the formation of a mixed type coolant is about 0.17 l/min.*

Keywords: *the autotractor machinery, thermal preparation, information model of heating, air-gas mix, the heat carrier of the mixed type.*

For citation: *Gabitov I.I., Negovora A.V., Razyapov M.M., Gusev D.A. Optimization of the process of thermal preparation of agricultural machinery at low temperatures. Technical service of machines. 2019. N.1. 122-130 (In Russian).*

Введение. Отрасли агропромышленного комплекса Российской федерации, включая сельское хозяйство, функционируют круглый год [1]. Однако эксплуатация автотракторной техники в условиях низких температур затруднена из-за повышения числа отказов ее основных агрегатов: двигателя, трансмиссии, рулевого управления и рабочего оборудования [2]. Проведенные в этой области исследования выявили связь воздействия низких температур и существенного увеличения вязкости смазывающих и рабочих жидкостей. Это вызывает функционирование агрегатов в нештатном режиме и увеличивает риск их отказов [3]. Наиболее эффективным методом подготовки техники к принятию нагрузки является тепловая подготовка – нагрев агрегатов при помощи потока горячей газовоздушной смеси (ГВС) до «целевой» температуры – величины, при которой обеспечивается нормальное функционирование агрегатов [4, 5]. Достаточно часто при подготовке техники к запуску и приему нагрузки в условиях низких температур водители несмотря на строгие предписания заводов-изготовителей не соблюдают, а многие и не знают установленный технологический процесс. Кроме того,

существующие методы и средства тепловой подготовки устарели и имеют ряд существенных недостатков, затрудняющих их применение.

Цель исследования – выявление конструктивно–режимных параметров средств тепловой подготовки и описание взаимодействие потока теплоносителя с нагреваемым объектом с учетом теплофизических параметров теплоносителя и конструктивных особенностей формирующих приспособлений.

Материалы и методы. Главным недостатком современных средств тепловой подготовки служит высокая температура ГВС, достигающая 700°С. Это приводит к термическому повреждению отдельных деталей и электронных компонентов, преждевременному старению масла и выходу из строя дорогостоящих агрегатов современной техники [6-8]. Таким образом, проблема организации тепловой подготовки автотракторной техники со снижением риска термических повреждений агрегатов достаточно актуальна.

Эффективность тепловой подготовки агрегата характеризуется временем τ, необходимым для его прогрева до целевой температуры, причем для каждого агрегата существует индивидуальная, присущая только ему «целевая температура» тепловой подготовки.

Теоретическое описание процесса обогрева агрегатов для определения условий и допущений необходимо начинать с информационной модели. Продолжительность тепловой подготовки зависит от факторов, представленных на рисунке 1.

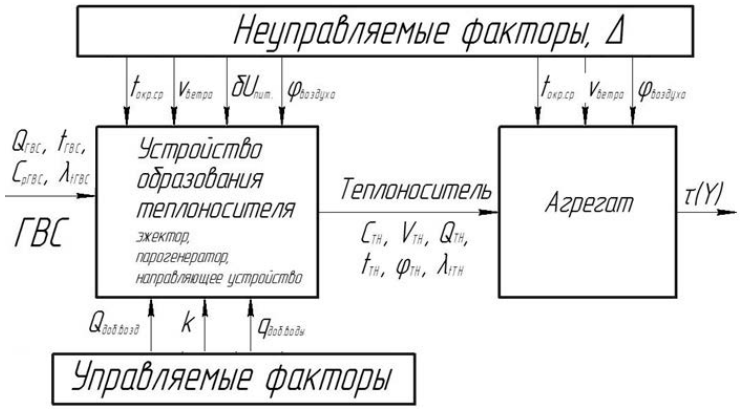


Рис. 1. Информационная модель разогрева агрегата:
X – управляемые факторы: $\mathbf{Q_{топл}}$, $\mathbf{q_{доб.\ воды}}$, $\mathbf{Q_{доб.воздуха}}$, $\mathbf{V_{возд}}$. *– объем топлива, расход воды, объем добавочного воздуха, скорость потока воздуха на входе в генератор ГВС, форма направляющего устройства; Δ – неуправляемые факторы:* $\mathbf{t_{окр.ср}}$ *– температура окружающей среды,* $\mathbf{V_{ветр.}}$ *– скорость ветра,* $\delta\mathbf{U_{пит}}$. *– изменение напряжения питания,* $\varphi_{возд}$, $\mathbf{f_{возд}}$ *– абсолютная и относительная влажность воздуха; Y – выходной параметр* $\boldsymbol{\tau}$ *– время тепловой подготовки*

Из информационной модели видно, что тепловая подготовка является нестационарным процессом. Для математического описания данного процесса применяли феноменологический метод и определили уравнения полей распределения температур, давлений и скоростей для нестационарного процесса теплопередачи [9]:

$$\left.\begin{aligned} T&=T(x, y, z, \tau)\\ P&=P(x, y, z, \tau)\\ W&=W(x, y, z, \tau)\end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где x, y, z – декартовы координаты пространства, τ – время.

Увеличение времени тепловой подготовки происходит за счет снижения температурного напора. Тепловой поток Q, (Вт) от теплоносителя к агрегату и от теплоносителя к стенкам НУ определяем по формуле Ньютона – Рихмана:

$$Q = \alpha \cdot \Delta T \cdot F, \qquad (2)$$

где где α – коэффициент теплоотдачи, $\alpha = f(w, \rho, \lambda, c_p, \mu, \beta, g, L, \Phi)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^0C)$;

ΔT – разность температур между теплоносителем и нагреваемым объектом ${}^0C$;

F – площадь активной поверхности агрегата, $м^2$.

Из формулы (5) видно, что наряду с температурным напором ΔT, на процесс обогрева влияет и коэффициент теплоотдачи α.

Для случая течения теплоносителя в зазоре между двумя пластинами коэффициент теплоотдачи α определяют по формуле [4]:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_f}{2x}, \qquad (3)$$

где Nu – критерий Нуссельта ; Nf – коэффициент теплопроводности теплоносителя, $Вт/(м \cdot {}^0C)$; x – зазор между пластинами, м.

После преобразований коэффициент теплоотдачи α принимает вид:

$$\alpha = 0{,}021 \cdot \left(\frac{v \cdot 2x}{\mu}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{\mu \cdot C_p}{\lambda_f}\right)^{0,43} \cdot \frac{\lambda_f}{2x} = 0{,}021 \cdot \frac{v^{0,8} \cdot C_p^{0,43} \cdot \lambda^{0,57}}{\mu^{0,37} \cdot (2x)^{0.2}} \qquad (4)$$

где C_p – удельная массовая теплоемкость теплоносителя, $Дж/кг \cdot {}^oC$

Из формулы (4) видно, что для увеличения α необходимо изменить теплофизические параметры теплоносителя. Одним из перспективных способов снижения температуры теплоносителя является подача воды в поток теплоносителя (ГВС) [12].

При этом часть тепла тратится на испарение воды и нагрев водяного пара, что приводит к изменению теплофизических свойств теплоносителя – образуется теплоноситель смешанного типа (ТСТ) [12].

Обоснование режимов подачи воды в поток ГВС для рационального снижения температуры теплоносителя проводили в программной среде FlowVision путем решения системы уравнений двухфазных течений, включающих уравнение Навье-Стокса для описания движения потока ГВС, а также уравнений динамики частиц воды, сохранения импульса для несущей фазы и неразрывности процесса.

Результаты моделирования процесса образования теплоносителя смешанного типа парогенератором в составе объемного обогревателя Термминикс 15Д-24 представлены на рисунке 2.

Установлено, что наиболее эффективным способом снижения температуры теплоносителя в рассмотренной системе тепловой подготовки является образование теплоносителя смешанного типа путем добавления воды в объеме 0,17 л/мин в поток ГВС. Дальнейшее увеличение подачи воды не обеспечивает существенного снижения температуры ГВС, но приводит к образованию капель воды на стенках подающего патрубка.

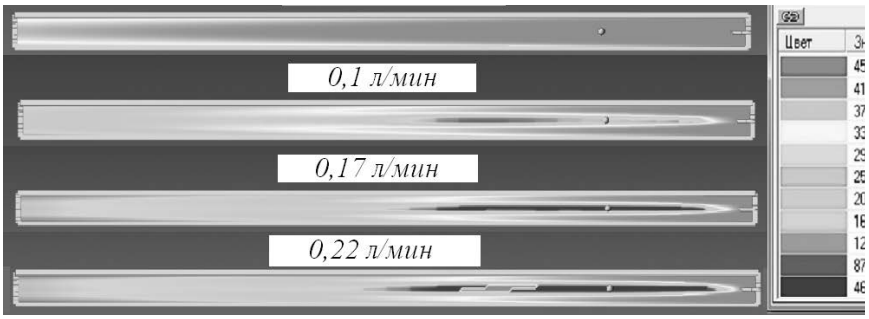


Рис. 2. Температурные поля теплоносителя смешанного типа при разной подаче воды (объемный обогреватель Терммикс 15Д-24 + парогенератор)

Для теоретического определения потребного расхода воды $g_в$ ***(кг/с)***, необходимого для образования теплоносителя смешанного типа с заданной температурой, вывели выражение:

$$g_в = \frac{C_p^{возд} \cdot W_{возд} \cdot \rho_{возд} \cdot (t_{ГВС} - t_{окр.ср})}{C_p^{в} \cdot t_{кип} + L + C_p^{пар} \cdot (t_{ГВС} - 100)}, \qquad (5)$$

где $C_p^{возд}$ – удельная массовая теплоемкость воздуха, ***Дж/кг·К***; $W_{возд.}$ – объемный расход воздуха, ***м³/ч***; $\rho_{возд.}$ – плотность воздуха на входе в обогреватель, к***г/м³***; $t_{ГВС}$ – температура ***ГВС*** на выходе обогревателя; $t_{окр.\,ср}$ – температура окружающей среды, ***°С***; $C_p^{в}$ – удельная массовая теплоемкость воды, ***Дж/кг·К; L*** – теплота парообрзования, ***Дж/кг;*** $C_p^{пар}$ – удельная массовая теплоемкость пара, Дж/кг·К; tкип – температура кипения, ***⁰С***. С использованием полученных выражений рассчитали необходимый расход воды, обеспечивающий требуемую температуру теплоносителя при различной температуре окружающей среды с работающим на максимальной мощности обогревателем (рис. 3).

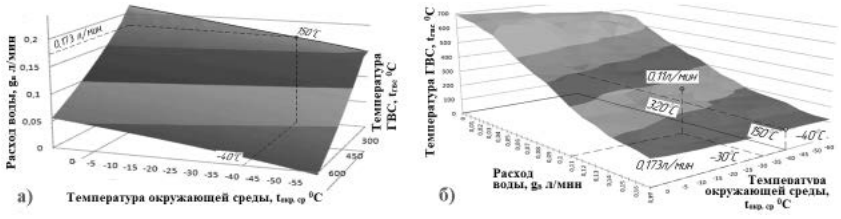


Рис. 3. Теоретические зависимости потребной массы воды для обеспечения заданной температуры ГВС (а) и получаемой температуры ГВС от расхода воды (б) при различной температуре окружающей среды

Теоретические расчеты процесса разогрева масла в поддоне картера двигателя СМД-60 проводили в программе «CD Adapco Star CCM» для различных составов теплоносителя, имитирующих прямое снижение его температуры изменением режима работы генератора ГВС (до 400 ***°С*** и 150 ***°С***); применением эжектора (до 150***°С***); применением эжектора и подачей воды с расходом 0,08 л/мин в поток ГВС (до 150 ***°С***) и только подачей воды с расходом 0,17 ***л/мин*** в поток ГВС (до 150 ***°С***). Начальной температурой обогрева при-

няли значение минус 40 ^{o}***C***. Расчетная продолжительность обогрева составляла 2600 секунд. Критерием эффективности считалось минимальное время достижения целевой температуры масла +10 ^{0}***C***. Обобщенный график изменения средней температуры масла в картере двигателя СМД-60 в физическом времени при использовании теплоносителя с различными теплофизическими свойствами показан на рисунке 4.

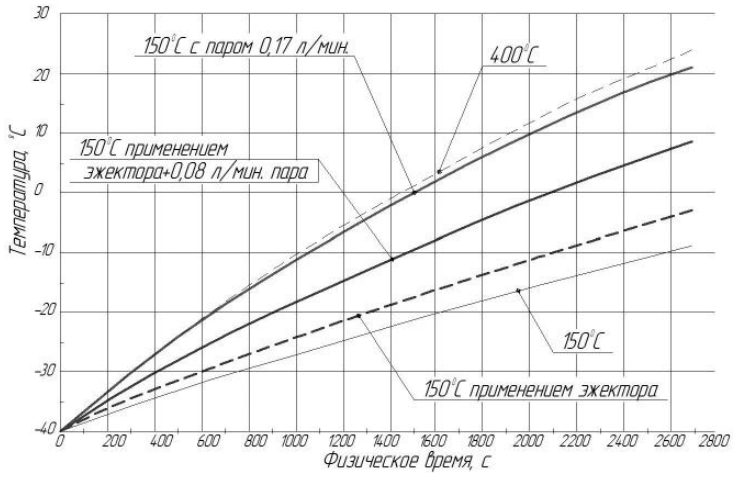


Рис. 4. Изменение средней температуры в картере двигателя СМД-60 при использовании теплоносителя с различными теплофизическими свойствами

Время прогрева масла до целевой температуры смешанным теплоносителем с температурой 150 ^{o}***C*** составило 2000 с, что соответствует сухому теплоносителю с температурой 400 ^{o}***C***.

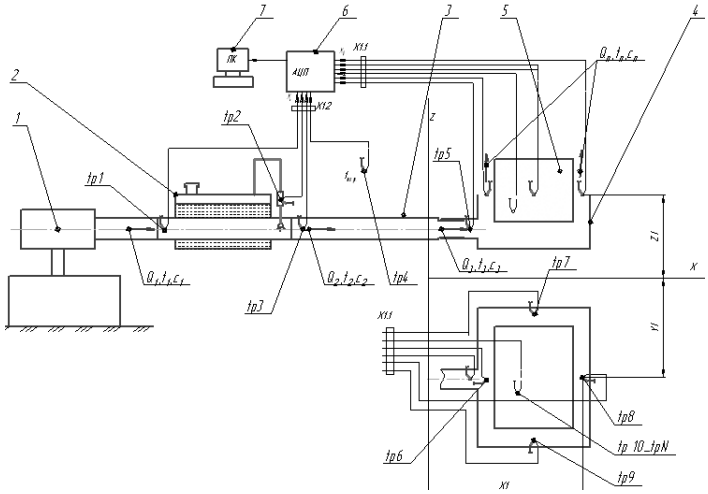


Рис. 5. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор горячих газов 15-Д-24 «ТермМикс»; 2- парообразователь; 3 – трубопровод; 4 – сменное направляющее устройство; 5 – обогреваемый агрегат; 6 – АЦП; 7 – компьютер; tp1-tp9 – термопреобразователи установки; tp10-tpN – термопреобразователи, установленные в обогреваемом агрегате; X, Y, Z – координаты рабочего спая термопреобразователя; Q, t, c – параметры потока теплоносителя (объемная производительность, температура, концентрация водяного пара)

Таким образом, подтверждено существенное влияние свойств теплоносителя на интенсивность обогрева, что позволяет рекомендовать снижение температуры ГВС для снижения риска термических повреждений без увеличения времени тепловой подготовки.

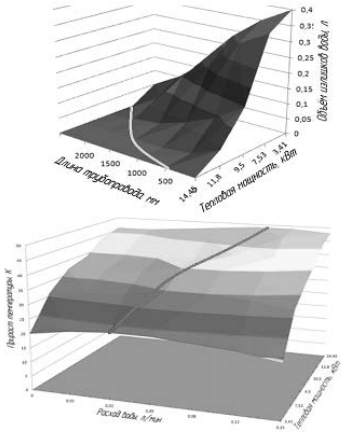


Рис. 6. Объем излишков воды в зависимости от длины подающего патрубка, тепловой мощности и прирост температуры нагреваемого объекта в зависимости от тепловой мощности обогревателя и расхода воды

Для исследования свойств ТСТ была построена экспериментальная установка, схема которой показана на рисунке 5 [8, 9]. Для повышения эффективности тепловой подготовки смешанным теплоносителем необходимо обеспечить оптимальное соотношение водяного пара и горячих газов, показателем которого является полное расходование воды на парообразование [10, 11, 13]. Для исключения образования капель воды в направляющем устройстве, подобрана оптимальная длина трубопровода от жаровой трубы к направляющему устройству.

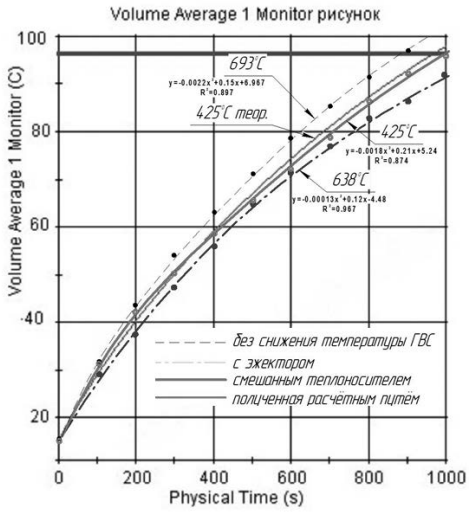


Рис. 7. Сравнение данных, полученных экспериментально тремя способами подогрева и моделированием в программе «Adapco Star CCM»

Результаты представлены в виде трехмерной диаграммы на рисунке 6. Линиями на графиках показаны оптимальные значения конструктивно-режимных параметров парогенератора.

Оптимальные значения расхода воды на парообразование для различных тепловых режимов определяли экспериментально измерением прироста температуры нагреваемого объекта за 300 секунд тепловой подготовки.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные данные с достаточной точностью подтвердили расчетные значения оптимальных параметров, полученные моделированием с теми же начальными условиями в программе «Adapco Star CCM». Сравнение данных, полученных теоретическим и экспериментальным путем, показано на рисунке 7.

Выводы. Таким образом, наиболее эффективным способом тепловой подготовки высокотехнологичных агрегатов к принятию нагрузки является их объемный обогрев потоком теплоносителя с пониженной до 150оС температурой. Полученные расчетные данные описывают взаимодействие потока теплоносителя с нагреваемым объектом с учетом теплофизических параметров теплоносителя и конструктивных особенностей формирующих приспособлений, что позволяет создать систему тепловой подготовки с оптимальными конструктивно-режимными параметрами для конкретных условий эксплуатации.

В ходе исследований обоснованы конструктивно-режимные параметры средств тепловой подготовки: для обеспечения минимального времени тепловой подготовки агрегатов теплоносителем с низкой температурой. Установлено, что при тепловой мощности подогревателя равной 15 кВт оптимальная скорость потока в зазоре «направляющее устройство – стенка агрегата» равна 2 м/с, а расход воды для образования теплоносителя смешанного типа при этом должен быть около 0,17 л/мин.

Библиографический список

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р.

2. Указ Президента РФ В.В. Путина от 09.05.2017 № 203 «О стратегии развития информационного общества в РФ на 2017-2030 годы».

3. Черноиванов В.И., Габитов И.И., Неговора А.В. Цифровые технологии и электронные средства в системе технического обслуживания и ремонта авто-тракторной и комбайновой техники // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 74-81.

4. Соловьев С.А. О программе модернизации инженерно-технологического обеспечения АПК //Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 117. С. 9-18.

5. Неговора А.В., Гусев Д.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров предпускового подогревателя/ // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 90-96.

6. Калимуллин Р.Ф. Эффективность предпускового подогрева автомобильного двигателя / Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. N1 (41). С. 11-16.

7. Ильин В.А. Технологии дополненной реальности в техническом сервисе автотракторной и комбайновой техники / Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. N3 (47). С. 40-43.

8. Гусев Д.А., Курдин Р.Г. Разработка математической модели процесса подогрева агрегатов автотракторной техники потоком теплоносителя / Наука молодых – инновационному развитию АПК: Сборник. Уфа: БГАУ. 2015. С. 283-288.

9. Габитов И.И. Интеллектуализация технического обслуживания и ремонта ав-

тотракторной и комбайновой техники // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. N3 (47). С. 13-17.

10. Roitman L., Shrager J., Winograd T.A comparative analysis of augmented reality technologies and their marketability in the consumer electronics segment // Journal of Biosensors and Bioelectronics. Available at: https://www.omicson line.org/open-access

11. Kowallick S. How block-chain can help to prevent odometer fraud. // An Interview with Timo Gessmann, Director Bosch IoT Lab. Bosch ConnectedWorld Blog. Available at: https://blog. bosch-si.com/blockchain/.

12. Неговора А.В., Разяпов М.М., Филиппов Ю.К. Предпусковая подготовка двигателя и агрегатов трансмиссии автомобиля к принятию нагрузки // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. Т. 1. N14. С. 266-270.

13. Гусев Д.А. Моделирование процесса обогрева агрегатов мобильной сельскохозяйственной техники / Фундаментальные основы механики. 2016. N1. С. 87-92.

References

1. Program "Digital economy of the Russian Federation". Approved by the decree of the RF Government dated 28.07.2017 No. 1632-R.

2. The decree of the President of the Russian Federation V.V. Putin of 09.05.2017 No. 203 "On the strategy of information society development in Russia on 2017-2030 years."

3. Chernoivanov V.I., Gabitov I.I., Negovora A.V. Digital technology and electronic media in the system of technical maintenance and repair of automotive and tractor and combine machinery. Proceedings of GOSNITI. 2018. Vol. 130. 74-81.

4. Soloviev S.A. on the program of modernization of engineering and technological support of the agroindustrial complex. 2014. Vol. 117. P. 9-18.

5. Negovora A.V., Gusev D.A., Substantiation of constructive-regime parameters of preheater. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 125. 90-96.

6. Kalimullin R.F. The Efficiency of the pre-heating of the automobile engine / Bulletin of the Siberian state automobile and road Academy. 2015. N1 (41). 11-16.

7. Ilyin V.A. Technologies of augmented reality in technical service of automotive and combine equipment. Bulletin of Bashkir state agrarian University. 2018. N3 (47). 40-43.

8. Gusev D.A., Kurdin R.G. Development of a mathematical model of the process of heating of aggregates of automotive equipment by the flow of coolant // The science of young people in the innovative development of agriculture: Collection. Ufa: BGAU. 2015. 283-288.

9. Gabitov I.I. Intellectualization of maintenance and repair of automotive and combine equipment. Bulletin of Bashkir state agrarian University. 2018. N3 (47). 13-17.

10. Roitman L., Shrager J., Winograd T. A comparative analysis of augmented reality technologies and their marketability in the consumer electronics segment. Journal of Biosensors and Bioelectronics. Available at: https://www.omicson line.org/open-access

11. Kowallick S. How block-chain can help to prevent odometer fraud. An Interview with Timo Gessmann, Director Bosch IoT Lab. Bosch ConnectedWorld Blog. Available at: https://blog. bosch-si.com/blockchain

12. Negovora A.V., Rajapov M. M., Filippov Yu. K. Pre-start preparation of the engine and transmission units of the vehicle to accept the load. Proceedings of the International Academy of agrarian education. 2012. Vol. 1. N14. 266-270.

13. Gusev D. Simulation of the heating process of mobile agricultural machinery units. Fundamentals of mechanics. 2016. N1. 87-92.

УДК 621.78:621.8

ДЕТАЛИ МАШИН, ВОССТАНОВЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Ринат Назирович Сайфуллин, доктор технических наук, профессор, bashagregat@mail.ru;
Ильнар Рагипович Гаскаров, кандидат технических наук, доцент;
Риф Касимович Ямалетдинов, инженер
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. *Рассмотрели опыт восстановления изношенных деталей машин электроконтактной приваркой различных присадочных материалов, привели номенклатура изношенных детали машин. Восстановление изношенных деталей производили на новой блочно-модульной установке. Установка укомплектована двумя блоками: блоком электроконтактной приварки и блоком наплавки под слоем флюса. Восстановление изношенных деталей машин производилось на научно-производственном участке кафедры технологии металлов и ремонта машин Башкирского государственного аграрного университета. (Цель исследования) Восстановление исходных параметров изношенных деталей машин расширенной номенклатуры методом электроконтактной приварки различных присадочных материалов. (Материалы и методы) Технология электроконтактной приварки заключается в приемке, дефектации, предварительной механической обработке, приварке, окончательной механической обработке и контроле каче-ства полученного покрытия. Предварительная механическая обработка проводится с целью устранения следов износа, придания правильной геометрической формы и занижения диаметра с учетом привариваемого присадочного материала. (Результаты и обсуждение) Режимы электроконтактной приварки определя-ются в зависимости от диаметра поверхности и применяемого присадочного материала. Окончательная обработка проводится на шлифовальных станках. При повышенных требованиях к качеству поверхности шлифование следует проводить в два этапа: предварительно и окончательно после правки шлифовального круга. Контроль качества восстановления производится сразу же после окончательной обработки без снятия со станка. Визуально оценивается отсутствие пор, непроваров и других дефектов. При их наличии поверхность подлежит повторному восстановлению. (Выводы) Для повышения качества восстановленных деталей необходимо создавать специализированные предприятия по восстановлению изношенных деталей машин и желательно фирмами-производителями с целью создания оборотных запасных частей.*

Ключевые слова: *восстановление деталей, электроконтактная приварка, опыт восстановления деталей.*

Для цитирования: *Сайфуллин Р.Н., Гаскаров И.Р., Ямалетдинов Р.К. Детали машин, восстановленные электроконтактной приваркой присадочных материалов на блочно-модульной установке // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 131-138.*

MACHINE PARTS RESTORED BY ELECTROCONTACT WELDING OF MATERIALS ON BLOCK-MODULAR INSTALLATION

Rinat N. Saifullin, Dr.Sc(Eng.), professor, bashagregat@mail.ru;
Ilnar R. Gaskarov, Ph.D.(Eng.), associate professor;
Reef K. Yamaletdinov, engineer
Bashkir state agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. *The work continues the theme of the experience of the restoration of worn-out machine parts electrocontact welding of various filler materials, a new range of worn machine parts. Restoration of worn parts was carried out, including a new block-modular installation. The unit is equipped with two units: a block of electric contact welding and a block of surfacing under a layer of flux. Restoration of worn-out machine parts was carried out at the research and production site of the Department of metal technology and machine repair of the Bashkir state agrarian University. (Purpose of research) Restoration of initial parameters of worn-out details of cars of the expanded nomenclature by method of electrocontact welding of various additive materials. (Materials and methods) The technology of electrocontact welding is acceptance, defecation, pre-machining, welding, final machining and control of the resulting coating. Pre-machining is carried out in order to eliminate the signs of wear, give the correct geometric shape and understatement of the diameter, taking into account the welded filler material. (Results and discussion) Modes of electric contact welding are reference and are determined primarily by the diameter of the surface and the kind of filler material. The final treatment is usually carried out on grinding machines. With increased requirements for surface quality grinding should be carried out in two stages: pre-and finally after editing the grinding wheel. Quality control of restoration is carried out immediately after the final processing without removing from the machine. Visually assessed the absence of pores, incomplete penetration and other defects, and if any surface be registered again. (Conclusion) Restoration of worn parts today is an urgent task, especially for parts of expensive imported equipment. To improve the quality of remanufactured parts, it is necessary to create specialized enterprises for the restoration of worn parts of machines and preferably by the manufacturers themselves, as is done in industrialized countries. Therefore, domestic manufacturers, according to the experience of developed countries, it is advisable to organize a developed network of repair and restoration points of their equipment, which would be engaged not only in maintenance and repair of equipment, but also the creation of a Fund of circulating spare parts.*

Keywords: *restoration of details, electrocontact welding, experience of restoration of details.*

For citation: *Saifullin R.N., Gaskarov, I.R., Yamaletdinov R.K. Machine Parts, restored electrocontact welding filler materials for modular installation. Technical service machines. 2019. N.1. 131-138. (In Russian).*

Введение. В 2008 г. в журнале «Ремонт. Восстановление. Модернизация» была опубликована одна из первых работ по опыту восстановления изношенных деталей машин электроконтактной приваркой (ЭКП) [1]. Затем по мере накопления материала появились аналогичные статьи, в которых представлены детали машин, восстановленные ЭКП [2, 3].

В данной работе мы приводим новую номенклатуру изношенных детали машин, восстановленных ЭКП различных присадочных материалов. Восстановление производили на новой блочно-модульной установке (рис. 1). Установка укомплектована двумя блоками: блоком электроконтактной приварки и блоком наплавки под слоем флюса. Восстановление изношенных деталей машин производилось на научно-производственном участке кафедры технологии металлов и ремонта машин Башкирского государственного аграрного университета.

а) *б)*

Рис. 1. Блочно-модульная установка для упрочнения и восстановления деталей машин: а) с блоком электроконтактной приварки; б) с блоком наплавки под слоем флюса

Цель исследования – восстановление исходных параметров изношенных деталей машин расширенной номенклатуры методом электроконтактной приварки различных присадочных материалов.

Материалы и методы. Технология ЭКП присадочных материалов на изношенные поверхности цилиндрических поверхностей заключается в приемке, дефектации, предварительной механической обработке, приварке, окончательной механической обработке и контроле качества полученного покрытия.

В процессе приемки производится очистка изношенной поверхности от ржавчины, смазки, а также проверяется наличие и состояние базовых поверхностей, используемых для закрепления изделия на станках, так как часто центровочные отверстия на торцах валов имеют механические повреждения, вследствие которых может произойти осевое смещение восстанавливаемой поверхности в процессе предварительной и последующей обработки. Поэтому перед дефектацией изделия необходимо обратить на это особое внимание и при необходимости провести правку центровочного отверстия или другой базовой поверхности с устранением радиального биения. В процессе дефектации измеряется величина износа и радиального биения, оценивается твердость поверхности и на основании этих данных определяется возможность и целесообразность дальнейших работ.

В ряде случаев, например, при восстановлении посадочных мест под подшипники автомобильных ступиц, требуется изготовить оправку, позволя-

ющую надежно зафиксировать изделия на станке, поэтому в процессе дефектации важно точно измерить и другие поверхности, не подлежащие восстановлению. Предварительная механическая обработка проводится с целью устранения следов износа, придания правильной геометрической формы и занижения диаметра с учетом толщины привариваемого присадочного материала. Например, при использовании в качестве присадочного материала стальной ленты толщиной 0,8 мм припуск на обработку (на диаметр) составляет 0,75-1 мм. При меньших значениях возможно отслоение покрытия, а при больших – наличие пятен необработанной поверхности после шлифования на номинальный размер.

Величина припуска также зависит от твердости присадочного материала, диаметра восстанавливаемой поверхности, режимов приварки и ее более точное значение определяется экспериментальным путем. Непосредственно перед процессом приварки необходимо подготовить присадочные материалы и восстанавливаемую поверхность.

Металлическую ленту необходимо очистить, разрезать по длине и ширине предварительно обработанной поверхности, проволоку – очистить от загрязнений, а порошки просеять и просушить. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой стальной проволоки, стальной ленты и порошков соответственно приведены в работах [4-6]. Восстанавливаемая поверхность обезжиривается, при наличии канавок, пазов и отверстий они защищаются вставками из меди или алюминия.

С целью предотвращения искро-образования роликовые электроды перед приваркой каждого покрытия необходимо проверить на наличие приваренного к ним присадочного материала и при необходимости зачистить напильником с мелкими насечками. При нарушении рекомендуемых параметров большая вероятность получения некачественного покрытия или повреждения детали в целом. После приварки металлопокрытия необходимо обязательно снять фаски (при наличии), разрезать канавки и высверлить отверстия, используя токарные и сверлильные станки.

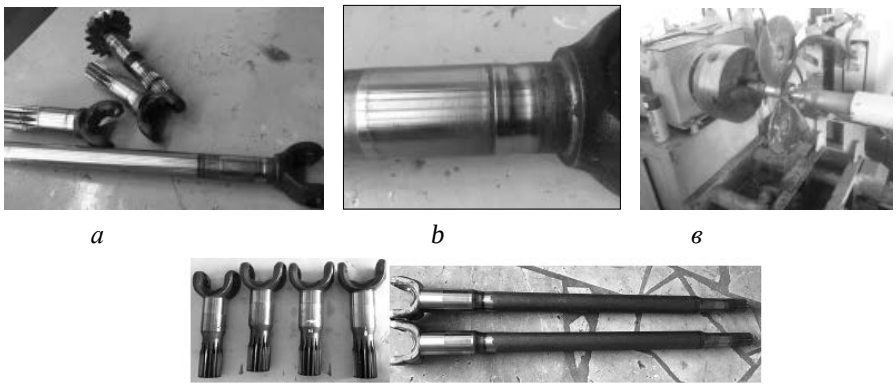
Окончательная обработка проводится, как правило, на шлифовальных станках. При повышен-ных требованиях к качеству поверхности шлифование следует проводить в два этапа: предварительно и окончательно после правки шлифовального круга. При шлифовании следует использовать обильное охлаждение и избегать чрезмерной продольной и поперечной подачи инструмента, чтобы исключить прожог поверхности. Шейки коленчатых и распределительных валов целесообразно полировать, используя приспособления к токарным или шлифовальным станкам. Контроль качества восстановления производится сразу же после окончательной обработки без снятия со станка.

Вначале визуально оценивается отсутствие пор, непроваров и других дефектов. При их наличии поверхность подлежит повторному восстановлению. Затем определяется соответствие размера и радиального биения допустимым значениям. Только соблюдение всех этапов технологического процесса в совокупности позволяет получать качественные покрытия, соответствующие требованиям завода-изготовителя.

Результаты и обсуждение. Основными изношенными деталями, восстановленными электроконтактной приваркой, остаются по-прежнему коленчатые валы небольших диаметров (20% всей восстанавливаемой номенклатуры), рисунок 2 [1-3].

Рис. 2. Коленчатые валы аппарата высокого давления Portotechnica 5008 с восстановленными шатунными шейками

В последнее время большую долю восстановленных деталей составляют различные полуоси и ступицы, валы кардана, коробки передач, редукторы насосов, приводы пускового двигателя трактора Т-4А, сепаратора-маслоотделителя, привода рулевой рейки, мелкие детали: опора под подшипники, экструдеры, шкивы, муфты и тому подобное (рис. 3-11).



а *b* *в*

Рис. 3. Вал кардана фронтального погрузчика Claas Scorpion: а) изношенные детали и изношенная под манжетой шейка; б) процесс восстановления шейки электроконтактной приваркой стальной ленты; в) восстанов-ленные детали (справа полуось переднего моста экскаватора на базе трактора New Holland)

a *b*

Рис. 4: а) изношенные ступицы для восстановления ЭКП стальной ленты; б) ступица экскаватора Hitachi в процессе восстановления ЭКП поверхности под подшипник и сальниковое уплотнение

а) *b)* *в)*

Рис. 5. Ступицы автомобиля ГАЗЕЛь: а) изношенные; б) с приваренной ЭКП стальной ленты; в) после шлифовки приваренной ЭКП стальной ленты

Рис. 6. Пятая шейка ведущего вала КП трактора «Кировец» после восстановле-ния ЭКП стальной ленты, рассверливания масляных отверстий и последующей шлифовки

Рис. 7. Изношенный вал вакуумного насоса, который восстанавливался ЭКП порошка

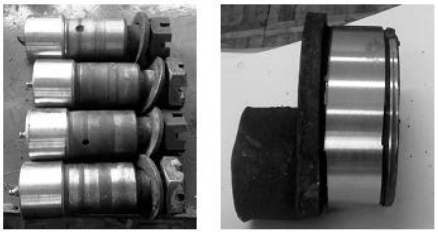


Рис. 8. Восстановленные детали: a) пальцы гидроцилиндра полурамы трактора Т-150К; b) эксцентрик соломотряса комбайна ДОН-1500

Рис. 9. Различные валы редукторов, восстановленные ЭКП стальной ленты

Рис. 10. Восстанавливаемые эксцентриковые валы печатной машины и вибростола

Рис.11. Восстановленный шкив

Выводы. Восстановление изношенных деталей является актуальной задачей, особенно деталей дорогостоящей импортной техники [7-10]. Для повышения качества восстановленных деталей необходимо создавать специализированные предприятия по восстановлению изношенных деталей машин и желательно самими фирмами-производителями, как это делается в промышленно развитых странах. Восстановление изношенных узлов и агрегатов на специализированных предприятиях практикуют «Ford Motors», «Volvo», «Saab», «Chrysler», «Caterpillar» и другие компании. Создание таких предприятий про-тиводействует полукустарному низкокачественному восстановлению. Отечественным производителям, по опыту развитых стран, целесообразно организовать развитую сеть ремонтно-восстановительных пунктов своей техники, которые занимались бы не только сервисным обслуживанием и ремонтом техники, но и созданием фонда оборотных запасных частей.

Библиографический список

1. Сайфуллин Р.Н., Левин Э.Л., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р., Юнусба-ев Н.М., Наталенко В.С. Восстановление изношенных деталей машин электро-контактной приваркой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. N11. С. 28-31.

2. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р. Опыт восстановления изношенных деталей импортных машин // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции, по-священной 120-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БАССР, профессора Александра Петровича Ланге. Уфа: БГАУ. 2016. С. 315-320.

3. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р. Опыт восстановления изношенных деталей электроконтактной приваркой стальной ленты // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 166-170.

4. Нафиков М.З., Сайфуллин Р.Н., Зайнуллин А.А. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочного материала из стальных проволок // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. N2 (110). С. 38-43.

5. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Левин Э.Л., Нафиков М.З., Натален-ко В.С., Исламов Л.Ф., Юферов К.В. Свойства покрытий, полученных электро-контактной приваркой присадочных материалов из стальных лент // Упрочня-ющие технологии и покрытия. 2014. N3 (111). С. 13-16.

6. Сайфуллин Р.Н., Левин Э.Л., Наталенко В.С. Свойства покрытий, полу-ченных электроконтактной приваркой металлических порошков // Упрочняю-щие технологии и покрытия. 2014. N9 (117). С. 22-25.

7. Гаскаров И.Р., Халилова Л.И. Особенности обработки, контроля и вос-становления конических поверхностей деталей // Технологии реновации машин и оборудования: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI

Промышленного салона и специализированных вы-ставок «Промэкспо, станки и инструмент», «Сварка. Контроль. Диагностика». Уфа.: БГАУ. 2016. С. 64-69.

8. Сайфуллин Р.Н., Гаскаров И.Р. Анализ технологий восстановления де-талей электроконтактной приваркой присадочных материалов // Достижения науки и инновации для аграрного производства: сборник материалов национальной научной конференции. Уфа: БГАУ. 2016. С. 142-148.

9. Фархшатов М.Н., Валиев М.М. Определение режимов электроконтактной приварки в магнитном поле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. N6. С. 38-38.

10. Латыпов Р.А. Предпосылки управления качеством формируемого по-крытия и соединения его с деталью при восстановлении и упрочнении деталей электроконтактной приваркой компактных и порошковых материалов // Труды ГОСНИТИ. 2006. Т. 98. С. 76-80.

j113

References

1. Saifullin R.N., Levin E.L., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R., Yunusbaev N.M. Natalenko V.S. Restoration of worn parts of machines by electric contact welding. Repair. Recovery. Modernization. 2008. N11. 28-31.

2. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R. Experience of restoration of worn-out details of import cars. Improvement of a design, operation and technical service of automotive and agricultural machinery: collection materials of the all-Russian scientific-practical conference dedicated to the 120th anniversary of the birth of Honored scientist of BASSR, Professor Alexander Petrovich Lange. Ufa: Bashkir state agrarian University. 2016. 315-320.

3. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R. The Experience of reconstruction of worn parts for the electric welding steel tape. Proceedings of GOSNITI. 2016. Vol. 125. 166-170.

4. Nafikov M.Z., Saifullin R.N., Zainullin A.A. Properties of the coatings obtained by electrocontact welding filler material made of steel wire. Hardening technology and coatings. 2014. N2 (110). 38-43.

5. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Levin E.L., Nafikov M.Z., Natalenko V.S., Islamov L.F., Yuferov K.V. Properties of coatings obtained by electrocontact welding filler materials of steel tapes. Hardening technology and coatings. 2014. N3 (111). 13-16.

6. Saifullin R.N., Levin E.L., Natalenko V.S. Properties of coatings obtained by electrocontact welding of metal powders. Reinforcing technologies and coatings. 2014. N9 (117). 22-25.

7. Gaskarov I.R., Khalilov L.I., characteristics of treatment, control and recovery of conical surfaces. Technology of the renovation of machinery and equipment: collection all-Russian scientific-practical conference in the framework of the XI salon of Industrial and specialized exhibitions "PromExpo, machines and tools", "welding. Control. Diagnostics". Ufa: Bashkir state agrarian University. 2016. 64-69.

8. Saifullin R.N., Gaskarov I.R. Analysis of technologies of restoration of details by electrocontact welding of filler materials. Achievements of science and innovations for agricultural production: collection materials of national scientific conference. Ufa: Bashkir state agrarian University. 2016. 142-148.

9. Farkhshatov M.N., Valiev M.M. Determination of modes of electric contact welding in a magnetic field. International journal of applied and fundamental research. 2011. N6. 38-38.

10. Latypov R.A. Prerequisites of quality control of the formed coating and its connection with the part in the restoration and strengthening of the details of electrocontact welding of compact and powder materials. Proceedings GOSNITI. 2006. Vol. 98. 76-80.

УДК 621.9.048.4

СОВРЕМЕННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО НАРАЩИВАНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Ринат Назирович Сайфуллин, доктор технических наук, профессор,e-mail: bashagregat@mail.ru;
Владислав Григорьевич Прига, аспирант
Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. *В связи с изменением масштаба и структуры производства возросла роль универсальных методов обработки материалов, к которым можно отнести электроискровую обработку металлических поверхностей. Необходимо возобновление широкого использования электроимпульсной обработки для решения задач машиностроительного и ремонтного производства. (Цель исследования) Проанализировать современные зарубежные установки для электроискрового наращивания и упрочнения изделий. (Материалы и методы). Представлена собственная классификация аппаратов и их ориентировочная стоимость. Отличительной особенностью электроимпульсной обработки металлов является ис-пользование однополярной формы импульсов, что повышает активность процесса обработки и существенно снижает температуру межэлектродного пространства. Метод используется для упрочнения режущего и штампового ин-струмента, а также для восстановления размеров изношенных деталей. Данный метод отличается универсальностью и возможностью полной автоматизации процесса. (Результаты и обсуждение) Кратко охарактеризовали современное оборудование для электроискровой обработки. Аппараты для электроискровой обработки можно разделить на индуктивные, конденсаторные и управляемые конденсаторные. В настоящее время выпускаются только конденсаторные и управляемые конденсаторные электроискровые аппараты. Индуктивные элек-троискровые аппараты не выпускаются и о них мало информации. (Выводы) За рубежом продолжается совершенствование аппаратов для электроискровой обработки, чего нельзя сказать об отечественном опыте совершенствования методов и аппаратов электроискрового упрочнения и наращивания. Некоторые исследования ведутся в МИСиС (Москва, рук. проф. – Левашов Е.А.); ИМ ХНЦ ДВО РАН (г. Хабаровск, рук. – проф. Верхотуров А.Д.); ИПМ НАНУ (г. Киев). В целом работы по совершенствованию электроискровой обработки ведутся в области автоматического управления режимами обработки и подбора эффективных электродных материалов.*

Ключевые слова: *электроискровая обработка, упрочнение, восстановление.*

Для цитирования: *Сайфуллин Р.Н., Прига В.Г. Современные установки для электроискрового наращивания и упрочнения изделий // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 139-145*

MODERN INSTALLATIONS FOR ELECTRO-SPARKING BUILDING-UP AND HARDENING OF PARTS

Rinat N. Saifullin, Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: bashagregat@mail.ru;
Vladislav G. Priga, postgraduate
Bashkir state agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. *The review presents modern foreign installations for the electric-spark buildup and hardening of parts and their estimated cost. Given the own classification of devices. Nowadays, due to changes in the scale and structure of production, the role of universal methods of processing materials has increased, to which electric spark processing of metal surfaces can be attributed. (Purpose of research) Therefore, it is necessary to resume the widespread use of electro impulse treatment for solving problems of the machine-building and repair production. (Materials and methods) A distinctive feature of the electro impulse treatment of metals is the use of a single-polar form of pulses, which increases the activity of the treatment process and significantly reduces the temperature of the interelectrode space. The use of modern advances in the field of high-current electronics and high-voltage pulsed technology, which opens the way to the creation of plants with improved performance. The method is used to harden the cutting and die tools, as well as to restore the size of worn parts. This method is characterized by versatility and the ability to fully automate the process. (Results and discussion) In this paper, we briefly stop on modern equipment for electric-spark processing. Devices for electric spark processing can be divided into inductive, capacitor and controlled capacitor. At present, only capacitor and controlled capacitor electric-spark devices are produced. Inductive electro-spark devices are not produced and there is little information about them. (Conclusion) The improvement of electric-spark machining apparatus continues abroad, which cannot be said about the domestic experience of improving the methods and apparatus of electric-spark hardening and extension. Some researches are conducted in MISiS (Moscow, the head – prof. E.A.Levashov); MI KhNTS DWO RAN (Khabarovsk, the head – prof. A.D. Verkhoturov); IPM NANU (Kiev). In general, the work on the improvement of the electric-spark treatment is carried out in the field of automatic control of the processing modes and selection of effective electrode materials.*

Keywords: *electro-spark treatment, hardening, recondition.*

For citation: *Saifullin R.N., Priga V.G. Modern installations for electrospark extension and hardening of products. Technical service of machines. 2019. N.1. 139-145. (In Russian).*

В связи с изменением масштаба и структуры производства возросла роль универсальных методов обработки материалов, к которым можно отнести элек-троискровую обработку металлических поверхностей. Необходимо воз-обновление широкого использования электроимпульсной обработки для ре-шения задач машиностроительного и ремонтного производства.

Цель исследования – проанализировать современные зарубежные установки для электроискрового наращивания и упрочнения изделий.

Материалы и методы. Метод электроискрового наращивания и упрочнения металлических поверхностей основан на использовании действия

электрического разряда, проходящего между электродами. В результате искрового разряда между электродом (+) и деталью (-) происходит преимущественное разрушение материала электрода и перенос продуктов эрозии на поверхность изделия. Кратковременность действия искрового разряда (до 2 м/с) обеспечивает несущественный нагрев изделия; при этом изменяется рельеф поверхности, состав и структура поверхностного слоя. Метод используется для упрочнения режущего и штампового инструмента, а также для восстановления размеров изношенных деталей (в этой области значимый вклад внесли Ф.Х. Бурумкулов и его сотрудники). Данный метод отличается универсальностью и возможностью полной автоматизации процесса [5, 6].

Наиболее подробно об отечественном и зарубежном оборудовании для электроискрового легирования, упрочнения и наращивания написано в работах [1, 2]. В данной статье проанализировали современное оборудование для электроискровой обработки. Аппараты для ЭИО можно разделить на индуктивные, конденсаторные и управляемые конденсаторные. В настоящее время выпускаются только конден-саторные и управляемые конденсаторные электроискровые аппараты. Индуктивные электроискровые аппараты не выпускаются. На рисунке 1 представлен подобный аппарат, разработанный доцентом Н.С. Юдиным, который используется в Дюртюлинском филиале МТС «Центральная» в республике Башкортостан для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин, а именно лап культиваторов (рис. 2) [3, 4].

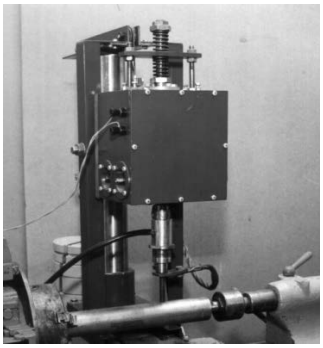


Рис. 1. Индуктивный электроискровой аппарат

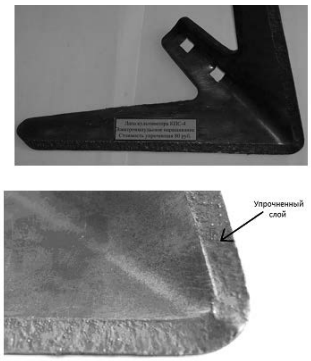


Рис. 2. Упрочненные индуктивным электроискровым наращиванием лапы культиваторов

Один из лидеров по выпуску современного электроискрового оборудования

– японская компания TechnoCoat Co., Ltd. В 2014 году она представила свою последнюю разработку – цифровой аппарат SparkDepo (рис. 3). Аппарат выполняет те же функции, что и предшественники, но его управление модернизировано (ориентировочная стоимость 3,5 млн руб.). Преимущества данного аппарата:

- чрезвычайно низкое тепловое воздействие на рабочую поверхность исключает коробление, усадку и внутренние напряжения;
- отличное соединение обеспечивается за счет формирования диффузного слоя под рабочей поверхностью, нет отслаивания после нанесения покрытия;
- аппараты переносные, ремонтные работы возможны прямо на рабочем участке и не требуют демонтажа тяжелой оснастки;
- не требуется предварительной или последующей термообработки, дешевые расходные материалы;
- любой оператор способен выполнять процесс высококачественно; легкость обучения позволяет работать без специальных знаний и навыков специалиста-сварщика;
- широкое применение, их можно использовать для восстановления любых дорогих деталей и компонентов машин и оборудования.

На рисунке 4 показана наплавка скола на золотнике запорного клапана.

Рис. 3. Цифровой электроискровой аппарат SparkDepo

Рис. 4. Наплавка скола на золотнике запорного клапана

Рис. 5. Электроискровая наплавка аппаратом SparkDepo3000. Ремонт пресс-форм

Китайские производители электроискрового оборудования в 2016 году представили аналогичный аппарат SZ-8100, который по производительности не уступает вышеуказанному (рис. 6), но значительно дешевле (ориентировочная стоимость 300 тыс. руб.).

Рис. 6. Электроискровой аппарат SZ-8100

Компанией Rocklin Manufacturing Co (США) в 2013 г. представлена модель Rocklinizer model 850/850E (рис. 7) (ориентировочная стоимость 500 тыс. руб.), предназначенная для упрочнения изделий. Запускается автоматически, когда электрод находится в контакте с заготовкой, или вручную оператором. Достоинства: более быстрое приложение, ротационный аппликатор, цифровое считывание, элементы управления сенсорной панелью, портативный. На рисунке 8 показано наращивание постели блока цилиндров.

Рис. 7. Электроискровой аппарат Rocklinizer model 850

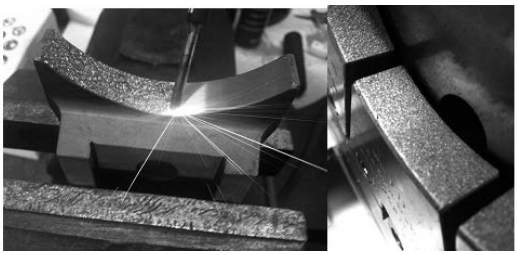


Рис. 8. Процесс наращивание постели блока цилиндров

Электроискровые аппараты производит японская компания Sanwa Shoko Co., LTD. Одна из последних моделей этой компании – аппарат Depositron-820 –представлена на рисунке 9. Ее достоинства: твердость покрытия до HV 2000, простота и удобство в использовании, компактность и мобильность, минимальное тепловое воздействие. При работе аппарата используют за-

патентованный способ нанесения металлического покрытия (карбида вольфрама) на стальные поверхности, подвергающиеся повышенной нагрузке.

Эффективность нанесения покрытия усиливается за счет глубокого проникновения карбида вольфрама в сталь. Результатом является прочное (до HV 2000) и жаростойкое покрытие, которое можно полировать и шлифовать. Не происходит коробление детали, поскольку при нанесении покрытия деталь не нагревается. Технология упрочнения поверхности может найти применение не только в литьевых пресс-формах, но в ряде других случаев, где необходимо по-высить износоустойчивость трущихся частей.

Рис. 9. Электроискровой аппарат Depositron-820 и процесс упрочнения

Выводы. Продолжается совершенствование аппаратов для электроискровой обработки. Некоторые исследования проходят в МИСиС и ВИМ (г. Москва); Институте материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения РАН (г. Хабаровск); Институте проблем материаловедения им. И.Н. Францевича (г. Киев) [2]. В целом работы по совершенствованию электроискровой обработки ведутся в области автоматического управления режимами обработки и подбора эффективных электродных материалов.

Библиографический список

1. Иванов В.И. Об использовании и развитии метода электроискрового легирования в России // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». Институт механики и энергетики. Саранск: Рузаевский печатник. 2016. С. 26-37.

2. Иванов В.И., Величко С.А. Электроискровые технологии и оборудование в России и за рубежом // Сельскохозяйственная техника: Обслуживание и ремонт. 2015. N1. С. 44-57.

3. Патент № 94040201/02 РФ Устройство для электроимпульсного наращивания изношенных поверхностей деталей машин / Юдин Н.С.; заявитель Башкирский государственный аграрный университет; заявл. 31.10.1994; опубл. 27.10.1997.

4. Черноиванов В.И. Состояние и перспективы применения электроискровых технологий в ремонтном производстве // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 106. С. 19-24.

5. Gabitov I.I., Saifullin R.N., Farhshatov M.N., Negovora A.V., Mudarisov S.G., Khasanov E.R., Galiullin R.R., Gabdrafikov F.Z., Yunusbaev N.M., Valiev A.R. Hardening of electrohyndraulig injectors valve units of diesels at repair // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. NS8. C. 6478-6486.

6. Ageev, E.V., Altukhov, A.Yu., Malneva, Yu.V., Novikov, A.N. Wear-resistance

investigation of electro-screen coatings obtained using electroerosive powders of micro and nanofractions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327(3).

References

1. Ivanov V.I. On the use and development of the electrospark alloying method in Russia / Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference "Energy-efficient and resource-saving technologies and systems." Institute of Mechanics and Energy. Saransk: Ruzaevsky printer. 2016. 26-37.

2. Ivanov V.I., Velichko S.A. Electric spark technologies and equipment in Russia and abroad. Agricultural machinery: Maintenance and repair. 2015. N1. 44-57.

3. Patent N 94040201/02 RF Device for electropulse building up worn out surfaces of machine parts / matter.With.; the applicant Bashkir state agrarian University; Appl. 31.10.1994; publ. 27.10.1997.

4. Chernoivanov V.I. State of the art and prospects for the application of electric-spark technologies in repair production. Proceedings of GOSNITI. 2010. Vol. 106. 19-24.

5. Gabitov I.I., Saifullin R.N., Farhshatov M.N., Negovora A.V., Mudarisov S.G., Khasanov E.R., Galiullin R.R., Gabdrafikov F.Z., Yunusbaev N.M., Valiev A.R. Hardening of electrohyndraulig injectors valve units of diesels at repair // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. NS8. 6478-6486.

6. Ageev, E.V., Altukhov, A.Yu., Malneva, Yu.V., Novikov, A.N. Wear-resistance investigation of electro-screen coatings obtained using electroerosive powders of micro and nanofractions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327(3).

УДК: 620.169.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПОКРЫТИЯМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Егор Олегович Рещиков, инженер,
e-mail: egorreschikov@gmail.com;
Роман Николаевич Задорожний, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Валерий Игоревич Иванов, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Титановые сплавы нашли широкое применение в промышленности. Ограниченность применения сплавов титана в узлах трения обусловлена неудовлетворительными триботехническими свойствами этих материалов. Повышение износостойкости титана и его сплавов возможно при помощи нанесения покрытий и изменения свойств поверхностного слоя материала. (Цель исследования) Повышение износостойкости титановых сплавов на примере ВТ20 при помощи электроискрового легирования. (Материалы и методы) Выполнили исследования износостойкости титанового сплава ВТ20 с покрытиями, полученными методом электроискрового легирования различными материалами. Изучили при помощи рентгенофлуорисцентного спектрометра в рамках проведенных исследованиий химический состав, профиль поверхности методом профилирования, износостойкость и триботехнические свойства полученных покрытий путем испытаний на трибометре по схеме штифт – диск. (Результаты и обсуждение) Выявили, что полученные покрытия из твердых материалов вследствие низкого качества поверхности в результате обработки показывают износостойкость на уровне эталонного образца без покрытия. Определили, что покрытия, образованные с применением электрода из графита, отличаются низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Установили, что износ образцов с покрытиями, за исключением образцов, обработанных графитом, в значительной мере приходится на этап приработки и обусловлен высокими параметрами профиля поверхности образцов. Следует измерять износ на всех стадиях процесса изнашивания: при приработке, в режиме нормальной эксплуатации и при так называемом катастрофическом износе. (Выводы) Выявили, что ЭИЛ позволяет в широком диапазоне изменять состав, структуру и свойства поверхностного слоя легируемого материла. Титановый сплав, обработанный ЭИЛ графитом, показывает высокую износостойкость и низкий коэффициент трения; слой графита, нанесенный на поверхность образца, не образует прочное покрытие, а играет роль твердой смазки, постепенно расходуемой в процессе изнашивания. Повышение износостойкости титановых сплавов путем электроискровой обработки графитом становится перспективным направлением развития использования титановых сплавов в узлах трения.*

Ключевые слова: *титановые сплавы, износостойкость, триботехнические испытания, электроискровое легирование.*

Для цитирования: *Рещиков Е.О., Задорожний Р.Н., Иванов В.И. Исследование триботехнических свойств титановых сплавов с покрытиями, полученными электроискровым легированием // Технический сервис машин. 2019. N.1.С. 146-154.*

TRIBOTECHNICAL PARAMETERS OF TITANIUM ALLOYS WITH ELECTRO SPARK ALLOYING COVER RESEARCH

Egor O. Reschikov, engeneer, egorreschikov@gmail.com;
Roman N. Zadorozhniy, Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Valeriy I. Ivanov, Ph.D.(Eng.), leading researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract*. Titanium alloys are industrially widespread. Titanium alloys limitation is caused poor tribotechnical properties of these materials. Titanium alloys wear resistance increasing can be reached by making covers and surface attributes changing. (Research purpose) Increasing titanium alloys wear resistance by electro spark alloying of VT20. (Materials and methods) In this work wear resistance of titanium alloys with electro spark alloying covers research was made to reach the purpose. In the study chemical composition by means of X-ray fluorescent was determined, surface texture with profile method was discovered, wear resistance and tribotechnical parameters of produced covers by the pin-on-disk method were researched. (Results and discussion) Because of poor surface texture parameters hardness material covers shows wear resistance the same as standard sample without cover. Covers produced by the means of carbon electrode differ low friction coefficient and high wear resistance. Summary. Samples with covers (except carbon produced) wear is mostly caused during breaking-in period because of their high surface texture parameters. Wear should be determined during all wearing process: breaking-in, normal and high-wear period. (Conclusions) Titanium alloys wear resistance increasing through electro spark alloying with carbon is a perspective way of using these materials in friction gear.*

Keywords: *titanium alloys, wear resistance, tribotechnical testing, electro spark alloying.*

For citation: *Reschikov E.O., Zadorozhny R.N., Ivanov V.I. Study of tribotechnical properties of titanium alloys with coatings obtained by electrospark alloying. Technical service of machines. 2019. N.1. 146-154. (In Russian).*

Введение. Титановые сплавы находят широкое применение в промышленности. В таких отраслях, как авиастроение, ракетостроение, медицина титан служит незаменимым материалом. Широкое их использование связано с присущими титану и его сплавам комплексу свойств – высокой удельной прочности, коррозионной стойкости во многих агрессивных средах, немагнитности, хорошей жаропрочности при температурах эксплуатации до 500-600 °С [1]. Несмотря на более чем 50-летнюю историю применения титана и его сплавов, в настоящее время продолжается работа по совершенствованию его эксплуатационных свойств, что необходимо, например, для создания газотурбинных двигателей пятого поколения. Этапы развития металлургии титановых сплавов показали, что значительная работа по совершенствованию их свойств проводится в направлении подбора оптимально-

го химического состава и термической обработки [2]. Ограниченность применения сплавов титана в узлах трения обусловлена неудовлетворительными триботехническими свойствами этих материалов. Титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью и высоким коэффициентом трения. Из-за высоких адгезионных свойств как на воздухе, так и в вакууме для титановых деталей, работающих в узлах трения, характерна склонность к схватыванию при трении [3]. Кроме того, сочетание других износостойких материалов с титаном или сплавом на его основе затруднено по следующим причинам. Сплавы титана склонны к налипанию на поверхность более твердого металла, вследствие чего трение протекает как в паре титан-титан [4].

Данное обстоятельство, возникающее в трибосистемах, содержащих титановые сплавы, подтверждается и другими исследованиями. При трении титана ВТ1-0 на стадиях с высокой скоростью изнашивания происходит перенос материала образцов на поверхность контртела, в результате чего на поверхности трения контртела происходит образование слоя из перенесенного материала [5].

Таким образом, для расширения области применения исследуемого материала необходимо повысить триботехнические свойства титана и титановых сплавов. Эту задачу можно решить совершенствованием химического и композиционного состава, поскольку показатели износостойкости существенно зависят от этих факторов. Так, интенсивность изнашивания сплава ВТ6 в 10 раз выше чем у титана ВТ1-0 [5]. Указанная проблема решается не только путем изменения свойств материала детали в целом, но также за счет изменения свойств поверхностного слоя, непосредственно контактирующего с другими элементами трибосистем.

Для этого применяют различные методы нанесения покрытий или легирования поверхностного слоя. Привели результаты исследования покрытия, полученного лазерной наплавкой карбида вольфрама (WC) в среде аргона, на титановом сплаве ВТ-01, которые показывают снижение коэффициента трения по равнению с образцом без покрытия в 3 раза [4].

Недостаток метода составляет относительно невысокая адгезионная прочность покрытия. Описаны результаты модификации поверхностного слоя путем ионного азотирования, которое позволяет увеличить износостойкость титана ВТ1-0 в 10 раз. Подобный способ требует специального оборудования, подвергает детали нагреву до высоких температур (650 °С) [5]. Значительные исследования проведены в области электроискрового легирования титановых сплавов и влияния полученных покрытий на различные свойства легируемого материала. Энергия импульсного разряда существенно влияет на формирование различных параметров поверхностного слоя. Наиболее оптимальные покрытия, рекомендованные в качестве износостойких, образуются при обработке титана Cr, Ta, Co, Ni, а также карбидами хрома, молибдена и вольфрама. Слои, полученные при ЭИЛ в аргоне, гелии и вакууме, всегда имеют меньше дефектов, чем при подобной обработке в воздухе [3].

Цель исследования – повышение износостойкости титановых сплавов на примере сплава ВТ20 при помощи ЭИЛ.

Материалы и методы. Провели исследование триботехнических свойств титанового сплава марки ВТ20 (ГОСТ 19807-91) с покрытиями, полученными методом ЭИЛ различными материалами. Исследуемые образцы – диски диаметром 60 мм и толщиной 5 мм с нанесенными на поверхность покры-

тиями при помощи установки ЭИЛ «БИГ-1М» электродами из различных материалов. Характеристики исследуемых образцов представлены в таблице 1. Образец 1 без покрытия принят в настоящем исследовании за эталон.

Таблица 1

Образцы для исследований

№ образца	Форма образца	Материал основы	Материал электрода
1	Диск диаметром 60 мм, толщиной 5 мм	ВТ20	-
2			ВК8
3			СТИМ-3БОАн
4			Графит
5			W
6			BN
7			W, графит

Поскольку процесс ЭИЛ представляет собой сложное взаимодействие между материалом легируемого изделия и материалом легирующего электрода, на химический состав покрытия значительное влияние оказывают режимы и условия обработки, поэтому провели исследования химического состава полученных покрытий. Для оценки влияния геометрических характеристик полученной после ЭИЛ поверхности образцов на износостойкость и триботехнические свойства исследовали структуру поверхности при помощи методов профилирования.

Для исследования триботехнических свойств титанового сплава ВТ20 после ЭИЛ провели испытания на износостойкость.

Химический состав покрытий на титановых образцах, полученных в результате ЭИЛ, определяли с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра Niton XL3t GOLDD+.

При исследовании геометрических характеристик поверхности образцов при помощи профилографа-профилометра Surtronic 25 ml 12/3522-01 использовали параметры: Ra, Rz, Rmr по ГОСТ Р ИСО 4287-2014 [6]. Оценка указанных параметров производилась при базовой длине 4 мм.

Испытания на износостойкость по схеме штифт – диск выполнили на трибометре TRB-S-DE-0000 фирмы CSM Instruments в соответствии со стандартом ASTMG99 [7]. Исследуемые образцы – образцы-диски, образец-штифт – штифт с жестко закрепленным на конце шариком из стали ШХ15. Установили следующие параметры испытаний: нагрузка – 6 Н; скорость – 0,15 м/с; расстояние – 1650 м. Температура образцов в процессе изнашивания не измерялась. Испытания проводили в условиях сухого трения на воздухе при температуре окружающей среды 20-25 °С и относительной влажности 40-45%. Износ определяли массовым методом, также производили профиллографирование изношенной поверхности образцов и ее фотографирование с измерением ширины дорожки трения на инвертированном оптическом микроскопе OLYMPUS GX51. В процессе испытания непрерывно фиксировали коэффициент трения.

Измерения износа представлены как потеря объема в кубических миллиметрах для исследуемых образцов-дисков и контробразцов-штифтов отдельно в соответствии со стандартом [7]. При пересчете величины износа, измеренного массовым методом, в единицы объема плотность титанового сплава ВТ20 принята при температуре 20 °С равной 4450 кг/м^3 [8]. Поскольку химический состав покрытий незначительно отличается от состава основного материала образцов, плотность для всех образцов принимали оди-

наковой. Плотность материала контробразца считали равной 7812 кг/м^3 [9].

Величину коэффициента трения, характеризующего взаимодействие пары материалов образца и контробразца, определяли как среднее значение параметра после приработки.

За расстояние приработки принимали величину расстояния, при достижении которой коэффициент трения приобретал минимальное значение [10].

Результаты и обсуждение. Результаты исследования химического состава образцов представлены в таблице 2.

Все исследованные образцы показывают насыщение элементами легирующего электрода в различной степени. Покрытие, полученное на образцах методом ЭИЛ, представляет собой легированный титановый сплав.

Таблица 2

Химический состав образцов

№ образца	Химическийэлемент, %										
	Mo	Zr	W	Ni	Co	Fe	Cr	V	Ti	Al	Si
1	0,91	1,82	-	-	-	0,07	0,08	1,31	89,49	6,31	-
2	0,94	1,89	0,67	0,02	0,32	0,52	0,08	1,31	87,74	6,02	0,49
3	0,95	1,80	0,02	1,29	-	1,19	2,24	1,26	85,58	5,66	-
4	0,94	1,85	-	-	-	0,17	0,09	1,39	88,51	6,68	0,35
5	0,96	1,91	1,99	0,37	0,35	0,14	0,13	1,38	86,20	5,94	0,63
6	1,77	1,96	-	0,02	-	0,71	0,10	1,40	88,07	5,98	-
7	1,65	1,88	-	-	-	0,44	0,08	1,53	86,23	7,36	0,81

Образец 7, обработанный последовательно вольфрамовым и графитовым электродами, не содержит в составе покрытия вольфрама, что может свидетельствовать о необходимости изменения режима последовательной обработки или о нецелесообразности последовательной комбинации указанных материалов электродов. По результатам исследования структуры поверхности образцов определили параметры поверхности профиля.

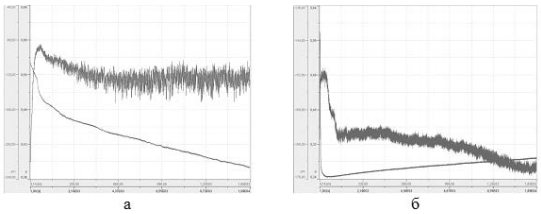
Обработанные ЭИЛ образцы имеют параметры профиля значительно выше образца без покрытия и незначительно различаются между собой, что объясняется использованием одного режима нанесения покрытия, а после легирования механическую обработку поверхности образцов не производили. При ЭИЛ графитом можно изменять шероховатость поверхности детали практически без изменения ее размеров, что является важным элементом для узлов трения [3]. Наиболее высоким относительным коэффициентом смятия (***Rmr***) обладает образец 7, подвергнутый дополнительной обработке графитовым электродом. Поскольку в целом шероховатость поверхности образца 7 не изменилась (параметры ***Ra*** и ***Rz*** незначительно отличаются от других образцов с покрытиями), можно утверждать, что в процессе обработки изменяется форма элементов профиля поверхности.

Характер изменения коэффициента трения в процессе испытания на износостойкость, как видно из диаграмм, фиксируемых в процессе испытаний параметров (коэффициент трения и глубина внедрения индентора), представленных на рисунке 1, различен для эталонного образца, образцов 2, 3, 5, 6 и образцов 4 и 7.

Коэффициент трения в процессе испытаний образцов 4 и 7 после приработки непрерывно увеличивался с заметно большей интенсивностью, в отличие от других образцов, в ходе испытания которых этот параметр после приработки изменялся незначительно.

Так как не рекомендуется для определения износа использовать непре-

рывно измеряемую в процессе испытания глубину дорожки трения из-за сложного влияния продуктов износа, пленок, присутствующих в месте контакта, погрешностей от теплового расширения и сужения, анализ величины и характера изменения данного параметра не провели [7].



a *b*

Рис. 1. Диаграмма изменения коэффициента трения при испытании образцов 2 (a) и 7 (b)

Из результатов испытаний на износостойкость, представленных в таблице 3, видно, что во всех сопряжениях износ образца значительно превышает износ контробразца, что объясняется большей прочностью материала последнего.

В целом образцы с покрытиями, за исключением образцов 4 и 7, показали износ и коэффициент трения, близкий к значениям данных параметров у эталонного образца. Несколько увеличенная величина их износа может быть обусловлена более значительным износом в процессе приработки, поскольку шероховатость образцов после ЭИЛ превосходит шероховатость образца без покрытия по ряду параметров почти в 7 раз.

Таблица 3

Результаты испытаний на износостойкость

№ испытания	Коэффициент трения	Расстояние приработки, м	Образец	Величина износа по массе, г	Величина износа, мм3
1	0,51	50	Шарик	0,0066	0,0008
			Диск	0,0292	0,0066
2	0,53	620	Шарик	0,0041	0,0005
			Диск	0,0299	0,0067
3	0,52	660	Шарик	0,0049	0,0006
			Диск	0,0318	0,0072
4	0,26	160	Шарик	0,0000	0,0000
			Диск	0,0019	0,0004
5	0,53	950	Шарик	0,0034	0,0004
			Диск	0,0307	0,0069
6	0,54	900	Шарик	0,0034	0,0004
			Диск	0,0310	0,0070
7	0,27	50	Шарик	0,0001	0,0000
			Диск	0,0008	0,0002

Наименьшей величиной износа обладают образцы 4 и 7, им же соответствуют наименьшие значения коэффициента трения. Износ контробразцов также меньше износа штифтов в других сопряжениях и его величина не была точно установлена применяемым методом. Анализ профилограмм, полученных с поверхностей исследуемых образцов после испытаний и представленных на рисунках 2 и 3, показывает, что структура поверхности из-

ношенной части для образцов 2, 3, 5 и 6 значительно изменилась.

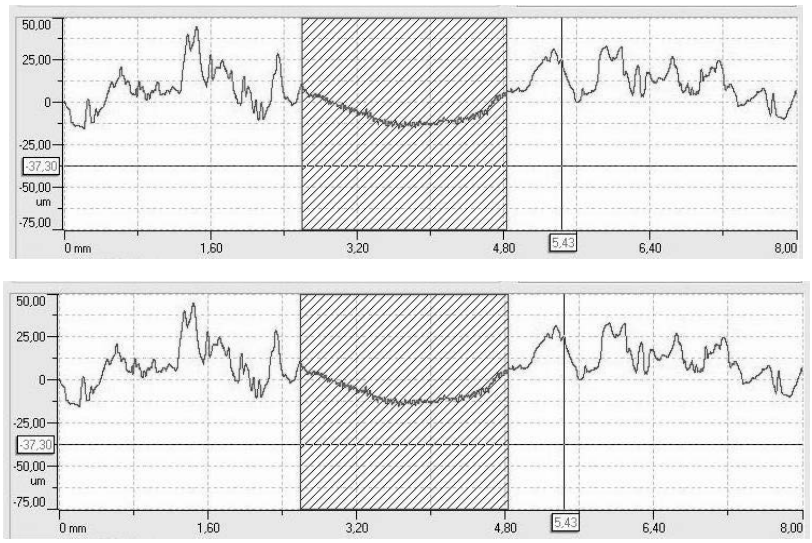


Рис. 3. Профилограмма изношенной поверхности образца 4

Поверхность эталонного образца не претерпела заметных изменений вследствие низких значений параметров ее профиля, что видно по небольшому по сравнению с другими образцами расстоянию приработки.

Расстояние приработки образцов с графитовым покрытием 4 и 7 также невелико, и их изношенная поверхность изменилась незначительно. Сформированные графитом слои обычно представляют собой сложную гетерогенную систему, содержащую карбиды титана, окислы, свободный графит (твердосмазочная фаза), а в процессе ЭИЛ в основе могут происходить закалочные явления, диффузия, диспергирование зерен и другие [3]. Можно сделать вывод, что в образцах 4 и 7 содержащийся на поверхности свободный графит выполняет роль твердой смазки, разделяющей поверхности трения и препятствующий изменению структуры поверхности и изнашиванию. Характер изменения коэффициента трения в процессе испытания образцов 4 и 7 (рис. 1b), а также снимок изношенной поверхности образца 7, представленный на рисунке 4, свидетельствуют о постепенном уменьшении слоя графита на поверхности образцов с увеличением относительного расстояния, пройденного элементами трибосистемы. Поверхность контакта образца представляет собой частично обнажившиеся участки основного материала и следы графитового покрытия.

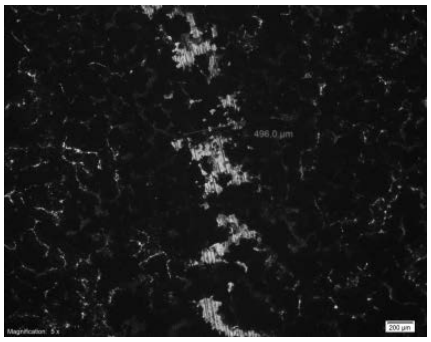


Рис. 4 . Изношенная поверхность образца 7

Выводы. Последовательное ЭИЛ титанового сплава электродами из вольфрама и графита на указанных режимах не приводит к легированию поверхностного слоя вольфрамом.

Износ образцов с покрытиями, за исключением образцов 4 и 7, в значительной мере приходится на этап приработки и обусловлен во многом высокими параметрами профиля поверхности образцов. Для более полного изучения износостойкости исследуемых покрытий следует измерять износ на всех стадиях процесса изнашивания: при приработке, в режиме нормальной эксплуатации и при так называемом катастрофическом износе.

ЭИЛ позволяет в широком диапазоне изменять состав, структуру и свойства поверхностного слоя легируемого материла. Повышение износостойкости титановых сплавов за счет легирования материалами электродов, приведенных в таблице 1, за исключением графита (образцы 4 и 7) в представленной мере насыщения поверхностного слоя легирующими элементами (таблица 2) не удовлетворяет цели повышения износостойкости.

Титановый сплав, обработанный ЭИЛ графитом, показывает высокую износостойкость и низкий коэффициент трения, что согласуется с результатами исследований [3]. Отметим, что слой графита, нанесенный на поверхность образца, не образует прочное покрытие, а играет роль твердой смазки, постепенно расходуемой в процессе изнашивания.

Таким образом, повышение износостойкости титановых сплавов путем электроискровой обработки графитом служит перспективным направлением развития использования титановых сплавов в узлах трения.

Библиографический список

1. *Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2014. 137 с.*
2. *Павлова Т.В., Кашапов О.С., Ночовная Н.А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. N5. С. 8-14.*
3. *Михайлов В.В., Гитлевич А.Е., Верхотуров А.Д., Михайлюк А.И., Беляков А.В., Коневцов Л.А. Электроискровое легирование титана и его сплавов, физико-технологические аспекты и возможность практического использования. Краткий обзор. Ч. I: Особенности массопереноса, структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях, их износо- и жаростойкость // Электронная обработка материалов. 2013. N49(5). С. 21-44.*
4. *Журавлев П.А., Морозов Е.А., Подборнов И.В. Повышение износостойкости титановых сплавов с помощью лазерной наплавки твердосплавных порошков // Masters Journal = Журнал мастеров. 2012. N2. С. 51-55.*
5. *Гриценко Б.П., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Круковский К.В., Гирсова Н.В., Тересов А.Д. Повышение износостойкости технически чистого титана ВТ1-0 и сплава ВТ6 // Известия самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. N4(3). С. 1009-1013.*
6. *ГОСТ Р ИСО 4287-2014 Геометрические характеристики изделий. Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности. М.: Стандартинформ. 2015.*
7. *ASTM G99-17, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken. PA. 2017.*
8. *Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. 640 с.*

9. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр./А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский; Под общей ред. А.С. Зубченко. М.: Машиностроение. 2003. 784 с.

10. Денисов В.А., Рещиков Е.О., Агеева Е.В. Сравнительная оценка триботехнических свойств покрытий, полученных железнением // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. N2. С. 46-51.

References

1. Illarionov, A.G., Popov A.A. Technological and operational properties of titanium alloys: training tool. Ekaterinburg: Publishing house Ural. University. 2014. 137.

2. Pavlova T.V., Kashapov O.S., Nochovnaya N.A. Titanium alloys for gas turbine engines. All materials. Encyclopedic reference. 2012. N5. 8-14.

3. Mikhailov V.V., Gitlevich A.E., Verkhoturov A.D., Mikhailuk A.I., Belyakov A.V., Konevtsov L.A. Electrospark alloying of titanium and its alloys, physico-technological aspects and the possibility of practical use. Short review. Part I: Features of mass transfer, structural and phase transformations in the surface layers, their wear and heat resistance. Electronic processing of materials. 2013. N49(5). 21-44.

4. Zhuravlev P.A., Morozov E.A., Podbornov I.V. Increasing the wear resistance of titanium alloys using laser surfacing of cemented carbide powders. Masters Journal = Master Magazine. 2012. N2. 51-55.

5. Gritsenko B.P., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Krukovsky K.V., Girsova N.V., Teresov A.D. Increase of wear resistance of commercially pure titanium VT1-0 and alloy VT6. Izv. Samarsk. Scientific Center of Sciences. 2011. Vol. 13. N4 (3). 1009-1013.

6. GOST R ISO 4287-2014 geometrical characteristics of products. Surface structure. Profile method. Terms, definitions and parameters of surface structure. Moscow: Standartinform. 2015.

7. ASTM G99-17, Pin-on-Disk Apparatus, Standard Test Method for Wear Testing. ASTM International. West Conshohocken. PA. 2017.

8. Handbook of construction materials: a Handbook / B.N. Arzamasov, T.V. Solovyov, S.A. Gerasimov; Ed. B.N. Arzamasova, T.V. Solovieva. Moscow: Publishing House of Moscow State Technical University N.E. Bauman. 2006. 640.

9. Marker steels and alloys. 2nd ed., Ext. m / A.C. Zubchenko, M.M. Koloskov, Yu.V. Kashirsky and others. Under the general ed. A.S. Zubchenko. Moscow: Mashinostroenie. 2003. 784.

10. Denisov V.A., Reschikov E.O., Ageeva E.V. Comparative evaluation of the tribotechnical properties of coatings obtained by fermentation // Tr. GOSNITI. 2016. Vol. 124. N2. 46-51.

УДК 629.3.014.2.017

ГИПОТЕЗА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА «СУПРОТЕК»

Сергей Михайлович Зеленьков, генеральный директор;
Юрий Георгиевич Лавров, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, e-mail: lavrov@suprotec.ru
ООО «Научно-Производственная Торговая Компания «СУПРОТЕК», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. *Исследования геомодификации поверхностей трения показали, что уникальные эффекты многократного снижения интенсивности изнашивания и потерь на трение обусловлены химическими и структурными свойствами минералов, а также гранулометрическим составом геомодификатора.. (Цель исследования) Разработать рабочую гипотезу формирования новой структуры поверхности трения, приводящей к кардинальным изменения условий трибокон-такта по результатам разрушающего и неразрушающего исследования. (Материалы и методы) На основе проведенных исследований предположили, что формированию новой оптимальной структуры поверхности трения способствуют различные факторы. Снятие тонкого дефектного слоя поверхностей трения способствует ускоренному формированию на них вторичных структур; при разрушении частиц минерала в локальной зоне трения быстро выделяется большая энергия, на поверхности детали возникает значительный градиент температуры и давления; в зоне разрушения частиц могут находиться химические соединения из минералов:* SiO_2, MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, NiO, Cr_2O_3, MnO, CaO *и др., участвующих в физико-химической модификации поверхностей трения. (Результаты и обсуждение) Определили, что факторы при потоке энергии, обусловленном твердостью и энергоплотностью частиц минерала, их размером, возможной эмиссией свободных электронов, обусловленной степенью «чистоты» поверхности и величиной модуля упругости, при наличии химических элементов в контакте, обеспечивают перестройку фаз и структуры компонентов на поверхностях трения, катализ новых соединений, и тем самым, не поддающееся контролю изменение поверхностей трения и подповерхностных слоев. (Выводы) Исследования показали, что ТС «СУПРОТЕК» способствуют формированию новой структуры поверхности трения на основе кристаллической решетки металла. В процессе работы узла трения в присутствии ТС «СУПРОТЕК» происходит последовательное постепенное наращивание слоев на атомном уровне. Характеристики сформированной структуры (толщина, пористость, микротвердость, масло-удерживающая способность) определяются условиями работы самого узла трения.*

Ключевые слова: *геомодификатор трения, структура слоев, частицы порошка, самоорганизация, каталитическое воздействие, кривая Аббота, явление «вытягивания» приповерхностных зерен, дефектность структуры.*

Для цитирования: *Зеленьков С.М., Лавров Ю.Г. Гипотеза формирования поверхности трения с применением триботехнического состава «СУПРОТЕК» // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 155-162.*

THE HYPOTHESIS OF THE FORMATION OF THE FRICTION SURFACE WITH THE USE OF TRIBOLOGICAL COMPOSITION "SUPROTEC"

Sergey M. Zelenkov, general director;
Yuri G. Lavrov, Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: lavrov@suprotec.ru
OOO "Scientific Production Trading Company "SUPROTEC»,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract.*The studies "geomodifications friction surfaces" showed that multiple unique effects reduce the wear rate and friction loss due to chemical and structural properties of minerals, as well as with a granulometry geomodifications friction.. (Research purpose) The purpose of these studies was to develop a new working hypothesis forming structure friction surface, leading to drastic changes in friction contact conditions on the results of the destructive and nondestructive investigation. (Materials and methods) Studies suggest that the formation of a new, optimal structure of the friction surfaces, by a variety of factors: the removal of a thin layer of defective friction surface that contributes to the accelerated formation of secondary structures on them; the destruction of mineral particles in a large area of local friction energy is released quickly, on the workpiece surface there is a considerable temperature gradient and pressure; in particle fracture zone may be chemical compounds from minerals: SiO_2, MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, NiO, Cr_2O_3, MnO, CaO, etc., involved in the physicochemical modification of friction surfaces. (Results and discussion) All of these factors when energy flux due to the hardness and the energy density of the mineral particles, their size, the possible emission of free electrons due to the degree of the "purity" of the surface and the elastic modulus value in the presence of chemical elements in contact, provide restructuring phase and structure of the components on the friction surfaces, catalysis, novel compounds and thus, uncontrollable change of the friction surfaces and subsurface layers. (Conclusions) Studies have shown that the vehicle "SUPROTEC" contribute to the formation of the new structure of the surface friction on the basis of the crystal lattice of the metal. In the process of operation of a friction component in the presence of CU "SUPROTEC" takes place consistently gradual build-up of layers at the atomic level. The characteristics of the formed structure (thickness, porosity, microhardness, oil-holding capacity) are determined by the operating conditions of the friction unit itself.*

Keywords: *geomodifier friction (GMF), structure of layers of the powder particles, selforganization, catalytic effect, Abbott curve, the phenomenon of "pull" near surface grains, structural defects.*

For citation: *Zelen'kiv S.M., Lavrov Yu.G. The hypothesis of formation of the friction surface with the use of tribotechnical composition "SUPROTEC» Technical service machines. 2019.N1. 155-162. (In Russian).*

Введение. В основу работы положено утверждение академика Вернадского В.И. о всеобщности физических законов живой и неживой природы и поиск условий самоорганизующихся процессов трения деталей двигателя подобно самовосстановлению суставов [5, 6]. Эффективность применения ультрадисперсных порошков природных минералов стала предметом науч-

ного открытия № 323 «Свойство высокоэнергоплотных минералов изменять параметры триботехни-ческих систем» [1].

В 80-е годы случайно обнаружили эффект «безызносности» колесных пар вагонеток шахт в Печенге. Ленинградские ученые исследовали это и запатентовали «эффект аномально низкого трения гидроксидов по стали» [2]. Однако достоверной информации о протекающих процессах геомодификации поверхностей трения недостаточно.

Цель исследования – разработать рабочую гипотезу формирования новой структуры поверхности трения, приводящая к кардинальным изменения условий трибоконтакта по результатам разрушающего, неразрушающего исследования . Дальнейшие исследования геомодификации поверхностей трения показали, что уникальные эффекты многократного снижения интенсивности изнашивания и потерь на трение обусловлены химическими и структурными свойствами минералов, а также гранулометрическим составом геомодификатора. Согласно принятой модели для модификации поверхностей узлов трения необходимо иметь в достаточной мере абразивный состав, чтобы произвести первичную очистку поверхностей трения от нагаров, отложений и окислов, а по возможности – и удаление с них разрушенных кристаллов при механической обработке деталей (резание, шлифование и т.п.), а также в процессе эксплуатации машин и оборудования [3, 4].

Однако абразивное действие порошка по мере приработки узла трения должно уменьшаться, чтобы исключить износ кристаллических структур. С другой стороны, энергии разрушения частиц должно быть достаточно, чтобы вывести систему трения из равновесия и инициировать в ней процессы самоорганизации с переходом на более высокий уровень «организованности», желательно с меньшими скоростями изнашивания и потерями на трение. Желательно уменьшить удельную интенсивность потока энергии. Поэтому при разработке и производстве ГМТ важно точнее подобрать частицы минерала с требуемой энергией разрушения, определяемой через энергоплотность, гранулометрический состав и оптимальную концентрацию для конкретного узла трения.

Формированию новой оптимальной структуры поверхностей трения способствуют различные, факторы, например:

1. При разрушении частиц минерала в зоне трения может происходить снятие тонкого дефектного слоя поверхностей трения, что способствует ускоренному формированию на них вторичных структур второго типа, в которых локализуется энергия сдвиговой деформации, приводящая к нагреву и разрушению микронеровностей на поверхностях трения.

2. При разрушении частиц минерала в локальной зоне трения быстро выделяется большая энергия, на поверхности детали возникает значительный градиент температуры и давления, что в отсутствии смазочной пленки может приводить к термомиграции легирующих элементов, переформированию зерен и субзерен поверхностей, изменению их ориентации, изменению фаз [7].

3. В зоне разрушения частиц могут находиться химические соединения из минералов: SiO_2, MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, NiO, Cr_2O_3, MnO, CaO и др., участвующих в физико-химической модификации поверхностей трения.

Все эти факторы при потоке энергии, обусловленном твердостью и энергоплотностью частиц минерала, их размером, возможной эмиссией свободных электронов, обусловленной степенью «чистоты» поверхности и величиной модуля упругости, при наличии химических элементов в контакте,

обеспечивают перестройку фаз и структуры компонентов на поверхностях трения, катализ новых соединений, и тем самым не поддающееся контролю изменение поверхностей трения и подповерхностных слоев [8-10]. Эти гипотетические процессы сложны, могут локально протекать одно-временно на всех уровнях – от атомного до макроуровня, разветвленно и по-степенно. В отдельные периоды возможно доминирование разных процессов, не поддающихся контролю, поэтому по ним нет достоверных данных.

Материалы и методы. Для оценки рабочей гипотезы модификации поверхностей трения в присутствии природных минералов серпентинов и талькхлоритов провели ряд исследований, разделенных на две части.

Первая часть – получение этих самых поверхностей трения с явными структурными и поверхностными изменениями в триботехнической лаборатории на образцах трения и на деталях двигателей внутреннего сгорания, работавших на моторном масле с добавками геомодификатора трения.

В триботехнической лаборатории исследования проводили на машине трения ИИ-5018 методом сравнения триботехнических характеристик.

Схема испытаний: «диск по диску» (подвижный диск: ***d = 50, h = 12,*** неподвижный диск: ***d = 50, h = 10***), смазка осуществлялась разбрызгиванием по-движным образцом (погружен в масло на 1,5-2 см, объем масла – 200 мл).

Материал: 30ХГСА (закалка, шлифовка ***Ra = 0,3-0,8 мкм)***.

Режим работы: ***n = 1200 мин*** $^{-1}$ (***V = 3,14 м/с)***, нагрузка ***P = 200 Н***;

Регистрируемые параметры:

- момент сопротивления трения ***M (Н*м***);
- нагрузка ***P (Н)***;
- температура масла в камере ***T (°C)***.

Износ образца (нижнего диска ***Δmo***) и контробразца (верхнего диска ***Δmк/o***) определялся взвешиванием до и после испытаний на аналитических весах АВ210М-01А с погрешностью до 0,1 мг.

Параметры профиля поверхности определяли по методике и прибором «MarSurf». В качестве деталей ДВС использовались поршневые кольца, вкладыши подшипников, коромысло и клапана.

Вторую часть исследований проводили в физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, где проводили исследования образцов:

- стали и бронзы методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ);
- стали методом сканирующей электронной микроскопией (СЭМ);
- стали методом рентгено-спектрального микроанализа (РСМА).

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования дали следующие результаты. Анализ микропрофиля поверхностей трения по расширенному набору параметров (удельной площади зоны пиков **Rpk**, сердцевины профиля ***Rk***, зоны впадин ***Rvk***; удельный маслоудерживающий объем **Vo**) показывает, что трибопроцесс, в котором в качестве смазки участвует триботехнический состав (ТС) «СУПРОТЕК», приводит к сглаживанию пиков, снижению уровня и заглаживанию сердцевины профиля, увеличению площади опорной поверхности.

На модифицированной опорной поверхности масло распределяется равномерно, параметр **Vo** возрастает, режим трения смещается от граничного к гидродинамическому и эластогидродинамическому.

Микротвердость поверхности трения после работы с триботехническим

составом «СУПРОТЕК» возрастает на 15-20%. Меняется градиент микротвердости по глубине. Изменяется наследственное (конституционное) напряженно-деформированное состояние поверхностных и подповерхностных слоев.Анализ приповерхностных слоев деталей после триботехнической обработки методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии показывает наличие протяженных доменов толщиной порядка 50 нм, ориента-ция которых вблизи поверхности приближается к горизонтальной (рис. 1), а при удалении от поверхности эти домены приобретают вертикальную ориентацию, простираясь на глубину 3 мкм и более. Картина же электронной дифракции в приповерхностной области (рис. 2) показывает наличие фаз мартенсита и цементита. Характерное «вытягивание» приповерхностных зерен и субзерен сплава происходит под действием сдвиговых напряжений при трении. Образующаяся таким образом ориентационная анизотропия как статичная форма вторичных структур поверхностей, способствует быстрой прирабатываемости пары трения и выступает как новое свойство пары трения приспосабливаться к динамичному спектру условий работы.

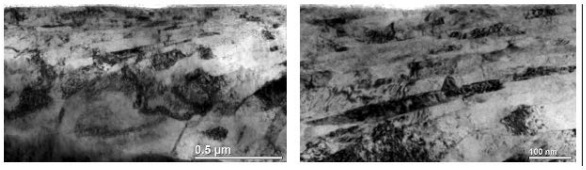


Рис. 1. Изображение протяженных доменов в приповерхностной области

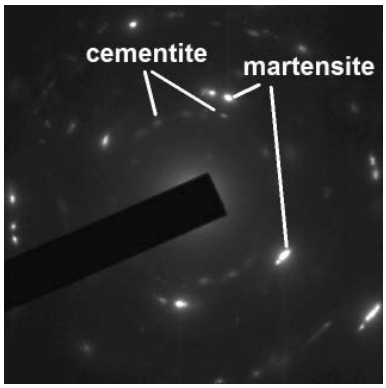
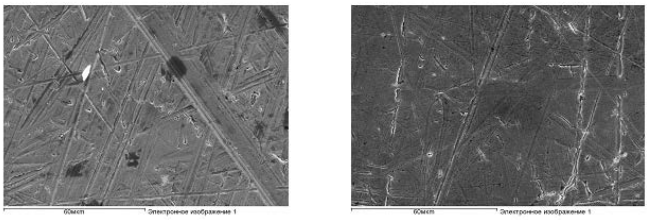


Рис. 2. Картина электронной дифракции от приповерхностной области показывает наличие доменов мартенсита и карбида железа Темнопольные изображения, полученные в дифракционных отражениях, относятся соответственно к мартенситу и цементиту

Происходит уменьшение дефектности подповерхностных слоев (рис. 3), а низкодефектные структуры (без межзеренных полостей и др. как концентраторов напряжений при упругопластических деформациях) изнашиваются значительно медленнее, поскольку количество и величина дефектов структур поверхностей определяют усталостную износостойкость против отслаивания и выкрашивания частиц металла из-за развития микротрещин.

По данным рентгеноспектрального микроанализа основными элементами в триботехническом покрытии являются железо, кремний, хром и марганец.



а) *б)*

Рис. 3. Электронное изображение поверхностей трения: а) изнашивание без использования состава «СУПРОТЕК»; б) изна-шивание с использованием состава «СУПРОТЕК»

Заметного отличия элементного состава приповерхностной области деталей трения после работы с ТС «СУПРОТЕК» и без него не наблюдается. Что свидетельствует об отсутствии керамических и металлокерамических слоев. Анализ профиля поверхностей трения по данным с прибора «MarSurf» показал, что трибообработка с составом «Супротек» не только снизила общую шероховатость ***Ra***, но и перераспределила параметры профиля: высота пиков ***Rpk*** уменьшилась в 7 раз, микронеровностей плато ***Rk*** – более чем в 3 раза, а впадины (маслохранилища) Rk практически не изменились (рис. 4). Произошло перераспределение параметров стратегического соотношения ***Rpk – Rk – Rvk***, определяющего маслоудерживающий объем поверхности: провоцирующие пики незначительны, плато умеренной шероховатости, впадины глубокие, мощные. Величина маслоудерживающего объема ***Vo*** увеличилась в полтора раза, опорная поверхность увеличилась, стала более плоской, уменьшилось удельное давление, что в целом изменило сместило режим трения в сторону гидродина-мического со снижением коэффициента трения. Таким образом, воздействие геомодификатора трения «СУПРОТЕК» ини-циировало самоорганизующиеся процессы и изменило не только структуру, но и профиль поверхностей трения.

Снижение коэффициента трения за счет увеличения несущей способности масляного слоя, обусловленного профилем и новой структурой слоя при вводе в масло ТС «СУПРОТЕК» и приработки в 30 тыс. циклов воздействия на ма-шине трения ИИ5018, показано на рисунке 5. Вместе со снижением потерь на трение снижается и температура масла (рис. 6).

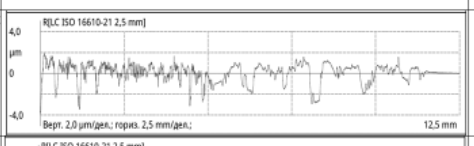
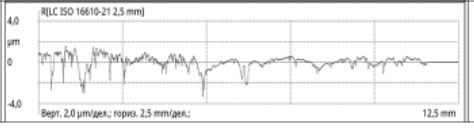
Зона	Профиль	Ra mkm	Rz mkm	Rpk mkm	Rk mkm	Rvk mkm	A1 mkm² /mm	A2 mkm² /mm
Заводской хон		0.66	4.14	0.43	1.23	2.05	16.2	262
Рабочая зона		0.41	3.0	0.36	1.15	1.48	13.0	117

Рис. 4. Профили поверхностей цилиндра ДВС с применением состава «СУПРОТЕК»

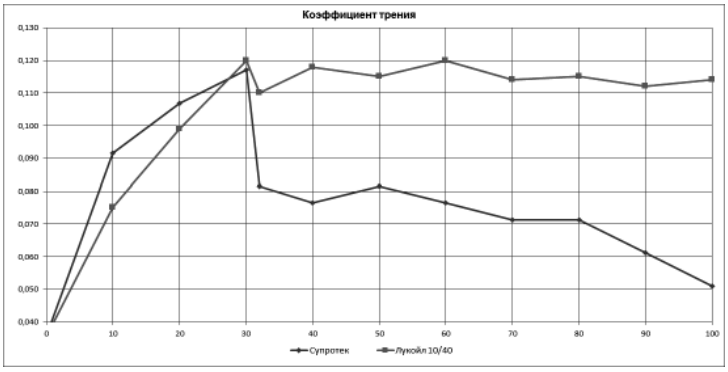


Рис. 5. Динамика коэффициента трения при работе на «чистом» масле и с вводом ТС «СУПРОТЕК»

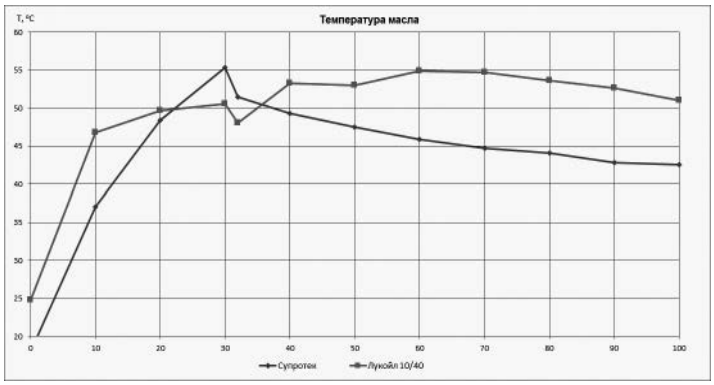


Рис. 6. Динамика температуры масла при работе на «чистом» масле и с вводом ТС «СУПРОТЕК»

Выводы. Проведенные исследования позволяют утверждать, что по принципу действия ТС «СУПРОТЕК» не является присадкой или добавкой в смазочный материал, так как не улучшает его характеристик, а взаимодействует непосредственно с металлическими поверхностями зон контактов (поверхностями трения) деталей узлов и механизмов. ТС «СУПРОТЕК» помогает системе «пара трения» выйти на новый качественный уровень энергетического баланса. ТС «СУПРОТЕК» является катализатором или инициатором процессов адаптации системы «пара трения – смазка».

ТС «СУПРОТЕК» способствуют формированию новой структуры поверхности трения на основе кристаллической решетки металла. В процессе работы узла трения в присутствии ТС «СУПРОТЕК» происходит последовательное постепенное наращивание слоев на атомном уровне. Характеристики сформированной структуры (толщина, пористость, микротвердость, маслоудерживающая способность) определяются условиями работы самого узла трения.

Библиографический список

1. *Зуев В.В., Лазарев С.Ю., Лавров Ю.Г., Денисов Г.А., Маринич Т.Л., Половинкин В.Н., Соловьев А.П., Холин А.Н. Свойство высокоэнергоплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем. Диплом на открытие № 323. Заявка на открытие А-409 от 14.12.2006.*

2. *Маринич Т.Л., Френкель Ш.Т., Зима С.Н. Способ формирования сервовитной*

пленки на трущихся поверхностях. Авторское свидетельство № 1601426. 1990. Бюллетень N39.

3. Лавров Ю.Г., Половинкин В.Н. Состав для повышения износостойкости узлов трения при эксплуатации. Патент РФ № 2176267, МПК C10M125/26. 2001. Бюл. N33.

4. Зеленьков С.М., Киселев К.А., Раевский А. Ю., Лавров Ю.Г. Триботехнический состав противоизносный антифрикционный восстанавливающий Патент РФ 2599161, МПК C10M125/00, C10M125/210, C10M125/26. 2016.

5. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Издательство АН СССР. 1954. 696 с.

6. Баландин Р.К. Вернадский: жизнь, мысль, бессмертие. М.: Знание. 1979. 174 с.

7. Хебда М., Чичинадзе А.В. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения: Справочник по триботехнике. М.: Машиностроение, Варшава: ВКЛ. Т. 2. 1990. 411 с.

8. Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин. М.: Машиностроение. 1990. Вып. 4. 238 с.

9. Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей машин. М.: Машиностроение. 1990. Вып. 5. 412 с.

10. Бавыкин О.Б., Плаксин С.В., Вячеславова О.Ф. Фрактальный анализ профиля поверхности деталей машин с применением измерительной установки MARSURF XR20 // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. Т. 2. N3/21. С. 9-13.

References

1. Zuev V.V., Lazarev S.Yu., Lavrov Yu.G., Denisov G.A., Marinich T.L., Polovinkin V.N., Soloviev A.P. The high-energy minerals property change parameters of tribological systems. Holin Certificate N 323 on the opening of Application for the opening of the A-409 from December 14, 2006.

2. Marinich T.L., Frankel St., Winter S.N. Servovitnoy method of forming a film on friction surfaces. Author's Certificate 1601426. servovitnoy method of forming a film on friction surfaces. 1990. Bul. N39.

3. Lavrov Yu.G., Polovinkin V.N. Composition for increasing the durability of friction units in operation. Patent of Russian Federation 2176267, MPK C10M125/26. 2001. Bul. N33.

4. Zelen'kiv S.M., Kiselev K.A., Raevsky A.Yu., Lavrov Yu.G. Anti tribological antifriction restoring, Patent of Russian Federation 2599161, MPK C10M125/00, C10M125/210, C10M125/26. 2016.

5. Vernadsky V. I. Selected works. Moscow: publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1954. 696.

6. Balandin R.K. Vernadsky: Life, the idea of immortality. Moscow: Knowledge, 1979. 174.

7. Khebda M., Chichinadze A.V. Lubricants, greasing equipment, sliding bearings and roller Handbook of tribotechnology. Moscow: Engineering, Warsaw: ON, V.2. 1990. 411.

8. Garkunov D.N. Durability of friction machine parts. Moscow: Engineering. 1990. Iss. 4. 238.

9. Garkunov D. Durability of friction machine parts. Moscow: Engineering, 1990. Iss. 5. 412.

10. Bavykin O., Plaksin S. Vyacheslavova O. Fractal analysis of surface profile of machine parts with measuring installation MARSURF XR20. Izvestiya MGTU "MAMI". 2014. Vol. 2. N3/21. 9-13.

УДК 629.114.2.01.004.67

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ

Владимир Михайлович Юдин, доктор технических наук, профессор;
Константин Викторович Кулаков, кандидат технических наук, доцент, e-mail: nrm@rgazu.ru
Российский государственный аграрный заочный университет, г. Балашиха, Московская обл., Российская Федерация

Реферат. *Наиболее широко в ремонтном производстве для восстановления деталей применяют железнение. Основные преимущества железнения –отсутствие термического влияния на деталь, небольшой припуск на механическую обработку и высокая износостойкость покрытия. (Цель исследования) Разработать установку и технологию нанесения железных покрытий на внутренние поверхности отверстий из высококонцентрированного электролита, обеспечивающего ресурсосбережение. (Материалы и методы) Исследования проводили на установке для нанесения железных покрытий из концентрированного электролита (500-600 г/л двухлористого железа). (Результаты и обсуждение) Разработанная технология восстановления внутренних поверхностей отверстий электролитическим железнением позволяет значительно увеличить скорость нанесения покрытия. Недостатком разработанной технологии служит повышенная склонность к окислению применяемого высококонцентрированного хлористого электролита. В ходе электролиза при высоких катодных плотностях тока получили данные о накоплении в электролите ионов трехвалентного железа. При железнении возможно защелачивание прикатодного слоя. Кислотность прикатодного слоя можно снизить до уровня образования в нем гидроксидов железа, которые включаются в осадок и ухудшают качество поверхности или приводят к нарушению всего процесса. Для устранения недостатков технологии скоростного железнения предлагаем в состав установки для нанесения покрытий включить электролитическую ячейку проработки электролита. Использование такой ячейки позволяет восстанавливать ионы трехвалентного железа до двухвалентного и поддерживать концентрацию двухлористого железа в электролите на требуемом уровне. С целью экономии материалов и снижения вредного воздействия на окружающую среду после железнения рекомендуется проводить промывку и нейтрализацию деталей в воде, разделенной с помощью электрического тока на обогащенную ионами водорода («кислую») и ионами гидроксила («щелочную»). Детали после железнения промывают в «кислой» воде, а затем проводят нейтрализацию «щелочной» водой. Водой для промывки пополняют ванну железнения, а воду для нейтрализации после фильтрации применяют снова. (Выводы) Предлагаемая установка и технология позволяют наносить качественные железные покрытия с высокой скоростью, сократить потребление ресурсов и загрязнение сточных вод.*

Ключевые слова: *железнение, плотность тока, кислотность электролита, гидроксид железа, «кислая» и «щелочная» вода.*

Для цитирования: *Юдин В.М., Кулаков К.В. Восстановление внутренних поверхностей отверстий деталей железнением // Технический сервис машин. 2019. Т. 134 (1). С. 163-169.*

RESTORATION OF INTERNAL SURFACES OF OPENINGS OF DETAILS STEELING

Vladimir M. Yudin, Dr.Sc(Eng.), professor;
Konstantin V. Kulakov, Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: nrm@rgazu.ru
Russian state agrarian correspondence University, Balashikha,
Moscow region, Russian Federation

Abstract. *Most widely in repair production apply iron plating to recovery of parts. The main advantages of iron plating are the lack of thermal influence on a part, a small allowance for machining and high wear resistance of a covering. (Research purpose) Development of installation and technology of drawing iron coverings on internal surfaces of the openings from the high-concentrated electrolyte providing resource-saving. (Materials and methods) Researches were conducted on installation for drawing iron coverings from the concentrated electrolyte (500-600 g/l of two-chloride iron). (Results and discussion) The technology of recovery of inner surfaces of openings developed by us electrolytic iron plating allows to increase coating application speed considerably. A lack of the developed technology is the increased tendency to oxidation of the applied high-concentrated chloride electrolyte. During electrolysis at the high cathode current densities we obtained data on accumulation in electrolyte of ions of trivalent iron. At iron plating there can be a alkalinization of a prikatodny layer. The acidity of a prikatodny layer can decrease to education level of iron hydroxides in it which join in a deposit and worsen a surface quality or lead to violation of all process. For elimination of shortcomings of technology of high-speed iron plating we suggest to include an electrolytic cell of study of electrolyte in structure of the coater. Use of such cell allows to recover ions of trivalent iron to bivalent and to maintain concentration of dichloride iron in electrolyte at the required level. For the purpose of economy of materials and decrease in harmful effects on the environment after iron plating it is recommended to carry out washing and neutralization of parts in the water separated by means of current flow on enriched with ions of hydrogen ("acid") and ions of a hydroxyl ("alkaline"). Parts after iron plating wash out in "acid" water, and then carry out neutralization by "alkaline" water. Fill up with water for washing an iron plating bathtub, and water for neutralization, after filtering apply again. (Conclusions) The offered installation and technology allows to put qualitative iron coverings with a high speed, to reduce consumption of resources and pollution of sewage.*

Keywords: *iron plating, current density, acidity of electrolyte, iron hydroxide, "acid" and "alkaline" water.*

For citation: *Yudin V.M., Kulakov K.V. Restoration of internal surfaces of holes of parts by iron. Technical service of machines. 2019. N.1. 163-169. (In Russian).*

Введение. Важными преимуществами восстановления деталей гальваническими покрытиями служит отсутствие термического влияния на деталь и

небольшой припуск на последующую механическую обработку. Наиболее широко в практике ремонтного производства для восстановления изношенных деталей применяют железнение [1-3]. Оно обладает хорошими технико-экономическими показателями: небольшие затраты на материалы; высокий выход металла по току (80-95%), 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 [4].

Цель исследования – разработать установку и технологии нанесения железных покрытий на внутренние поверхности отверстий из высококонцентрированного электролита, обеспечивающих ресурсосбережение. Материалы и методы. Исследования проводили на установке для нанесения железных покрытий из концентрированного электролита (500-600 г/л двухлористого железа, pH = 0,5-0,7), состоящей из ванны, бака для электролита, бака для слива электролита, приспособления для установки детали, электродов, перфорированной перегородки, шлангового насоса, клапанов и патрубков [5].

Результаты и обсуждение. Нами разработана технология восстановления внутренних поверхностей отверстий 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. Рабочую плотность тока устанавливают в пределах 50-150 ***А/дм²***. Скорость наращивания покрытий при данных условиях составляет 10-28 мкм/мин. Продолжительность железнения зависит от требуемой толщины покрытия и выбранных режимов железнения. С учетом подготовительных операций и выхода на режим для большинства деталей она составляет 25-45 минут.

Недостатком этой технологии является использование концентрированного хлористого электролита (500-600 г/л двухлористого железа). Он имеет повышенную склонность к окислению. В ходе исследований получены данные о накоплении ионов трехвалентного железа в указанном электролите во время электролиза при высоких катодных плотностях тока [6,7]. Кроме того, в ходе электролиза может происходить защелачивание прикатодного слоя. Это объясняется тем, что скорость восстановления ионов водорода на катоде настолько большая, что их убыль из прикатодного слоя не успевает восстанавливаться за счет притока из основного объема электролита. В результате ***pH*** электролита в прикатодном слое становится значительно больше, чем в общем объеме электролита. Кислотность прикатодного слоя может снизиться до такого значения, при котором начинается образование гидроксида железа (явление гидратообразования). Гидроксид двухвалентного железа имеет стандартный ***pH*** гидратообразования $pH_{гд} = 6,7$, а гидроксид трехвалентного железа обладает значительно меньшим значением $pH_{гд} = 1,6$. Образовавшиеся в прикатодном слое гидроксиды железа включаются в осадок и ухудшают качество поверхности или приводят к нарушению всего процесса нанесения покрытия. Для восстановления ионов трехвалентного железа до двухвалентного рекомендуем в состав установки для нанесения покрытий включать электролитическую ячейку проработки электролита [8-11]. На рисунке 1 представлена предлагаемая нами схема установки для железнения внутренних поверхностей отверстий деталей.

Обезжиренную и промытую деталь устанавливают на приспособление,

размещенное в ванне установки для железнения. При закрытом клапане ванну заполняют электролитом из бака за счет открытия клапана. Открытие и закрытие клапанов осуществляют с помощью блока управления (на рисунке не показан). В целях ресурсосбережения мы рекомендуем для анодной обработки и нанесения покрытия использовать один электролит, содержащий 500-600 г/л двухлористого железа с pH 0,5-0,7.

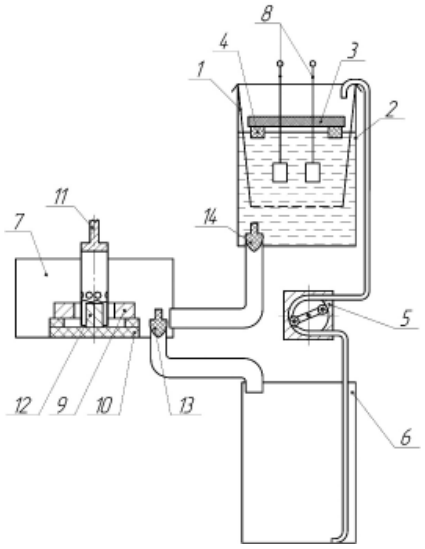


Рис. 1. Установка для железнения внутренних поверхностей отверстий деталей: 1 – фильтр; 2 – бак с электролитом железнения; 3 – приспособление для установки электродов; 4 – поплавок; 5 – шланговый насос; 6 – бак для слива электролита железнения; 7 – ванна; 8 – электроды; 9 – деталь; 10 – приспособление для установки детали; 11 – перфорированная перегородка; 12 – анод; 13, 14 – клапаны

Анодную обработку проводят при анодной плотности тока 50-60 А/дм2 в течение 60-120 с. Температура электролита – 20-35 °С. После окончания анодной обработки между анодом и наращиваемой поверхностью детали помещают цилиндрическую перфорированную перегородку и приводят ее во вращение. В начале электролиз ведут на ассиметричном переменном токе при плотности катодной составляющей 20-40 А/дм^2 и катодно-анодном показателе (отношение катодной и анодной составляющих тока) 1,2-1,5 в течение 2 минут. Затем увеличивают катодно-анодный показатель до 2-2,5 и наносят покрытие 2-3 мин. После этого переходят на постоянный ток. Рабочую плотность тока устанавливают в пределах 50-150 А/дм^2.

При достижении необходимой толщины покрытия выключают ток и вращение перегородки, сливают электролит через открытый клапан 13 в бак 6. Деталь снимают, промывают и контролируют. Из нижнего бака электролит перекачивается шланговым насосом в бак 2.

В верхнем баке на поплавках установлена электролитическая ячейка для проработки электролита, состоящая из текстолитового приспособления, на котором монтируются два электрода в виде пластин из малоуглеродистой стали (площадь пластин – 0,5-1 дм^2), соединенных с источником постоянного тока (расстояние между электродами 30-50 мм).

Поплавки обеспечивают требуемое расположение электродов в электролите при колебаниях его уровня в верхнем баке. Проработку электроли-

та в этой ячейке можно проводить как параллельно с основным процессом нанесения покрытия, так и в другое время. Плотность тока при проработке поддерживается в пределах 5-8 А/дм^2. Для увеличения жизни пластин периодически меняют их полярность. Использование такой ячейки позволяет восстанавливать ионы трехвалентного железа до двухвалентного и поддерживать концентрацию двухлористого железа в электролите на требуемом уровне. Размещенный в баке 2 фильтр обеспечивает очистку электролита от шлама и других загрязнений. С целью экономии материалов и снижения вредного воздействия на окружающую среду рекомендуем после железнения проводить промывку и нейтрализацию деталей в воде, разделенной с помощью электрического тока на обогащенную ионами водорода («кислую») и ионами гидроксила («щелочную»). Схема установки для получения «кислой» и «щелочной» воды приведена на рисунке 2. Она состоит из ванны, полунепроницаемой перегородки, которая затрудняет переход ионов из одной полости в другую, двух нерастворимых электродов.

К электродам подводят постоянный ток. Объем полости для получения «щелочной» воды должен быть в 3-4 раза больше, чем для «кислой».

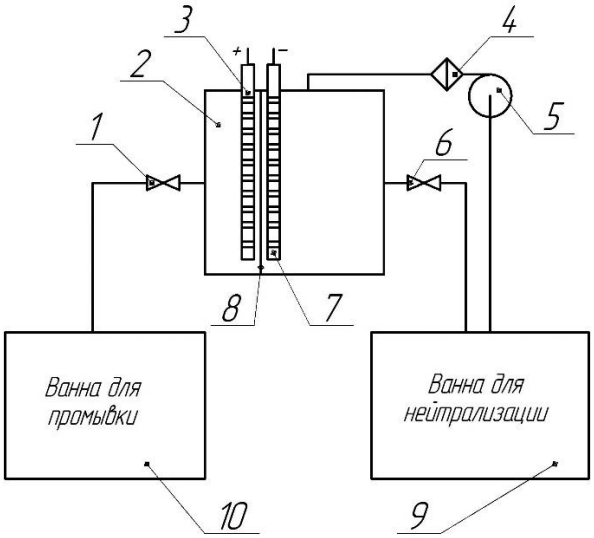


Рис. 2. Схема промывки и нейтрализации деталей после железнения: 1, 6 – краны; 2 – ванна для получения «кислой» и «щелочной» воды; 3 – анод; 4 – фильтр; 5 – насос; 7 – катод; 8 – перегородка; 9, 10 – ванны

Ванну для промывки заполняют «кислой», а для нейтрализации «щелочной» водой. Кислотность воды в промывочной ванне поддерживается на уровне pH 2. Кислотность воды в ванне нейтрализации – pH 10. После железнения детали помещают в промывочную ванну с «кислой» водой на 1-2 мин. Затем их переносят в ванну нейтрализации на 15-20 мин. После этой операции детали сушат.

Между ванной нейтрализации и полостью электролизера, где образуется «щелочная» вода, осуществляется циркуляция воды. На пути движения жидкости из ванны нейтрализации в электролизер помещен фильтр для улавливания гидроксида железа, образовавшегося из остатков электролита, находящихся в порах деталей. Осадок гидроксида железа периодически удаляют из фильтра.

Выводы. Предлагаемая схема установки и технология позволяют наносить качественные железные покрытия с высокой скоростью, сократить потребление ресурсов и загрязнение сточных вод. Включение в состав установки электролитической ячейки для проработки электролита позволяет стабилизировать концентрацию двухлористого железа и предотвратить накопление ионов трехвалентного железа в электролите.

Библиографический список

1. Юдин В.М., Вихарев М.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин гальваническими покрытиями на основе цинка // Вестник ОрелГАУ. 2009. N1(16). С. 24-25.

2. Юдин В.М. Скоростное железнение // Автомобильный транспорт. 1986. N4. С. 49-50.

3. Веселовский Н.И., Батищев А.Н., Юдин В.М. Железнение внутренних поверхностей с использованием вращающейся перегородки // Влияние технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники на ее долговечность: Труды ВСХИЗО. 1985. С. 21-23.

4. Мелков М.П., Швецов А.Н., Мелков И.М. Восстановление автомобильных деталей твердым железом. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт. 1982. 198 с.

5. Веселовский Н.И., Кулаков К.В., Вихарев М.Н. Восстановление деталей гальваническими покрытиями // Вестник РГАЗУ. 2015. N19 (24). С. 63-67.

6. Юдин В.М., Кулаков К.В. Установка для нанесения композиционных электрохимических покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 303-305.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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. Study of the adhesive properties of a coating prepared by deforamtion cladding with a flexible tool // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 52. N11-12. C. 779-784.

11. 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. Yudin V.M., Vikharev M.N. Recovery of parts of farm vehicles electroplated coatings on the basis of zinc // Vestnik OrelGAU. 2009. N1(16). 24-25.

2. Yudin V.M. High-speed iron plating // Motor transport. 1986. N4. 49-50.

3. Veselovsky N.I., Batishchev A.N., Yudin V.M. Iron plating of inner surfaces with use of the rotating partition. Influence of technical maintenance and repair of agricultural machinery on its durability: Works VSHIZO. Moscow: 1985. 21-23.

4. Melkov M.P., Shvetsov A.N., Melkov I.M. Recovery of automobile parts solid iron. 2 nd prod., reslave and additional. Moscow: Transport. 1982. 198.

5. Veselovskiy N.I., Kulakov K.V., Vikharev M.N. Restoration parts galvanic coatings. Vestnik RGAZU. 2015. N19(24). 63-67.

6. Yudin V.M., Kulakov K.V. Installation for drawing composition elecrochemical platings. Proceedings GOSNITI. 2015. Vol. 121. 303-305.

7. Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.V., Safonov 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.

8. Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.V., Safonov R.I., Kalutskii E.S. Electrodeposition of Universal Non-porous Coatings from Chloride Electrolytes. Electrics. 2015. N4. 27-31.

9. Serebrovskii V.I., Serebrovskii V.A., Konyashenko P.Y., Dzhioev S.I. Recovery of the crankshafts of the starting motors by electrolytic ironing of an asymmetric current. Regional Gazette. 2017. N2 (7). 3-5.

10. 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. Study of the adhesive properties of a coating prepared by deforamtion cladding with a flexible tool. Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 52. N11-12. 779-784.

11. Guryanov G.V., Krisel 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 621.793

КРЕМНИЕВОЕ ПОКРЫТИЕ SILCOPATEKS ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАГАРА И ОТЛОЖЕНИЙ НА ДЕТАЛЯХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Павел Абрамович Тополянский[1], кандидат технических наук, доцент;
Сергей Александрович Ермаков[1], кандидат технических наук, доцент;
Андрей Павлович Тополянский [2], инженер, e-mail: info@plasmacentre.ru
[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация,
[2]ООО «Плазмацентр», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. *За рубежом эффективно применяют кремниевые химически инертные покрытия, предотвращающие образование нагара и отложений на деталях ма-шин и оборудования. Данные покрытия состоят из многослойного (до 10 слоев) гидрогенизированного аморфного кремния (a-Si:H), внешний слой которого функционализирован углеводородными соединениями, имеющими ковалентную связь с предшествующим слоем. Эти диффузионные покрытия прозрачны, имеют повышенную адгезионную прочность к подложке за счет проникновения кремния вглубь до 50 нм. Метод нанесения данных покрытий – химическое осаждение из паровой фазы (CVD). В России аналогичные покрытия не применяются, поэтому их разработка является актуальной задачей. (Цель исследования) Доказать эффективность разработанного отечественного кремниевого по-крытия SilcoPateks при его нанесении методом химического осаждения из паровой фазы с плазменной активацией (PACVD) на детали машин и оборудования для предотвращения образования углеродистых отложений, связанных с горением топлива, высокотемпературным и окислительным воздействием ком-понентов масла. (Материалы и методы) В качестве исходных материалов образцов для исследований применялись антифрикционный легированный чугун марки АХНМД и сталь Р18. Исследования проводили при изучении физико-механических и трибологических свойств, параметров шероховатости, морфологии, остаточных напряжений, угла смачивания и других характеристик по-верхностного слоя. (Результаты и обсуждение) Разработанное многослойное покрытие SilcoPateks из гидрогенизированного аморфного кремния с верхним многослойным покрытием из оксикарбонитрида кремния (a-Si:H-SiOCN) нано-сили с использованием химического осаждения из паровой фазы с активацией плазмой дугового разряда (технология финишного плазменного упрочнения). Результаты проведенных исследований показали преимущества свойств поверхностного слоя с покрытием SilcoPateks по сравнению с электрохимическим хромированием. (Выводы) Покрытие SilcoPateks может использоваться для по-вышения долговечности и надежности деталей цилиндропоршневой группы, а также упрочнения и восстановления золотниковых и плунжерных пар топливных насосов высокого давления.*

Ключевые слова: *углеродистые отложения, плазменное силицирование, химико-термическая обработка, кремниевое покрытие, плазменное покрытие.*

Для цитирования: *Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Кремниевое покрытие SilcoPateks для предотвращения нагара и отложений на деталях машин и оборудования // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 170-178*

SILICON SILCOPATEKS COATINGS TO PREVENT SCALE AND DEPOSITS ON THE PARTS OF MACHINES AND EQUIPMENT

Pavel A. Topolyansky[1], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Sergei A. Ermakov[1], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Andrey P. Topolyansky[2], engineer
[1]Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg,Russian Federation
[2]Plazmatsentr LLC, St. Petersburg, Russian Federation

Abstrakt. *Silicon chemically inert coatings are effectively used abroad to prevent formation of scale and deposits on the parts of machines and equipment. These coatings consist of multilayer (up to 10 layers) hydrogenated amorphous silicon (a-Si: H), outer layer thereof is functionalized with hydrocarbon compounds with a covalent bond with the preceding layer. These diffusion coatings are transparent, have an increased adhesive strength to the substrate due to penetration of silicon down to 50 nm. Chemical vapor deposition (CVD) method is used to apply these coatings. Similar coatings are not applied in Russia, so their development is a relevant task. (Research purpose) To prove the effectiveness of the developed silicon coating SilcoPateks when it is applied by chemical vapor deposition with plasma activation (PACVD) on the parts of machines and equipment for the pre-rotation of the formation of carbon deposits associated with the combustion of top-Liv, high-temperature and oxidative effects of oil components. (Materials and methods) Antifriction alloyed cast iron AHNMD and steel R18 were used as starting materials for the samples. Researches were performed in the course of study of physical-mechanical and tribological properties, roughness parameters, morphology, residual stresses, wetting angle and other characteristics of the surface layer. (Results and discussion) The developed SilcoPateks multilayer coating of hydrogenated amorphous silicon with an upper multilayer coating of silicon oxycarbonitride (a-Si: H-SiOCN) was applied using chemical vapor deposition with arc plasma-activated plasma technology (plasma finishing technology). The results of the studies showed benefits of the properties of the surface layer coated with SilcoPateks compared with electrochemical chrome plating. (Conclusions) SilcoPateks coating can be used to improve durability and reliability of parts of cylinder-piston group, as well as hardening and restoration of spool and piston pairs of high-pressure fuel pumps.*

Keywords: *carbon deposits, coke, plasma silicization, chemical-thermal treatment, silicon coating, plasma coating.*

For citation: *Topolyansky P.A, Ermakov S.A, Topolyansky AP. Silicon coating SilcoPateks to prevent soot and deposits on parts of machinery and equipment. Technical service of machines. 2019. N.1. P.170-178. (In Russian).*

Введение. По российской терминологии химико-термическая обработка (ХТО) - это процесс нагрева и выдержки металлических изделий при вы-

сокой температуре в химически активных средах. Она обеспечивает диффузию насыщаемого элемента и образование модифицированного поверхностного слоя с измененным составом, структурой и физико-механическими свойствами. За рубежом процессы ХТО в газовых средах относят к химическому осаждению покрытий из газовой (паровой) фазы (chemical vapor deposition – CVD). При CVD, кроме осаждения покрытий, также как и при ХТО, происходит диффузия отдельных элементов в подложку или элементов из подложки в покрытие.

К ХТО относится силицирование – высокотемпературное насыщение металлических поверхностей кремнием из кремнийсодержащих твердых, жидких или газообразных материалов. Основное назначение силицирования – пассива-ция и защита от коррозии деталей в агрессивных средах (морской воде, азотной, серной, соляной кислотах), повышение жаростойкости, износостойкости, нанесение функциональных покрытий на тугоплавкие металлы (молибден, вольфрам, ниобий, тантал, титан). Обычно температура нагрева изделий при газовом силицировании более 800°С, для ее уменьшения используют плазменную активацию, как кремнийсодержащих газов, так и подложки, например, в тлеющем, высокочастотном и дуговом разряде при финишном плазменном упрочне-нии [1-4].

За рубежом для получения покрытий из кремния применяется CVD процесс, где в качестве газовой фазы используют соединения кремния с водородом – силаны. Начиная с 1987 года нанесение кремниевых покрытий с использованием силанов и CVD-процесса получило активное развитие в корпорации Restek Co (США), которая разработала прозрачное диффузионное покрытие с повышенной адгезионной прочностью к подложке за счет проникновения кремния вглубь до 50 нм. Покрытие состоит из многослойного (до 10 слоев) гидрогенизированного аморфного кремния (a-Si:H), внешний слой которого функционализирован углеводородными соединениями, имеющими ковалентную связь с предшествующим слоем. Разработанное покрытие использовалось в компонентах космического челнока Discovery, на космической межпланетной станции Кассини-Гюйгенс при исследованиях планеты Сатурн, а в 2004 году признано журналом R&D одним из 100 наиболее значимых технологических продуктов года. Данное покрытие обеспечивает высокую химическую инертность поверхности и применялось корпорацией Restek, в том числе для предотвращения образования углеродистых отложений (нагара, лака, шлама), связанных с горением топлива, высокотемпературным и окислительным воздействием компонентов масла [5]. При использовании CVD процесса осаждение покрытий возможно на сложных поверхностях, в том числе с отверстиями малого диаметра, например, жиклеров. В 2009 году разработанная корпорацией Restek технология нанесения кремнийсодержащих покрытий, была передана вновь организованной корпорации SilcoTek Co (США) с целью более широкого исполь-зования данных покрытий в различных областях промышленности. Одним из наиболее перспективных покрытий, разработанных корпорацией SilcoTek, является покрытие SilcoKleanTM1000, предназначенное для снижения закоксованности металлических поверхностей и образования различных отложений, ингибирующее каталитические реакции, защищающее от обрастания углеродистыми отложениями, антинагарное. Данное покрытие применяется для деталей двигателей и различной топливной аппаратуры с целью повышения их долговечности, тепловой эффективности, способно-

сти выдерживать повышенные температуры нагрева, снижения затрат на их техническое обслуживание. Нанесение покрытия SilcoKleanTM1000 на поверхности деталей двигателей и топливных систем уменьшает образование нагара в 8 раз, снижая прохождение каталитических реакций топлива и масла с образованием углеродистых отложений на металлических поверхностях по сравнению с нержавеющей сталью без покрытия. Покрытие SilcoKleanTM1000 не только предотвращает образование нагара, но и облегчает удаление других загрязнений (лака, шлама), которые образуются на нагретой поверхности. Например, удаление нагара с поверхности, имеющей покрытие SilcoKleanTM1000, возможно с помощью ультразвуковой обработки в обычных растворителях, что значительно упрощает процедуру обслуживания и продления цикла эксплуатации деталей. При этом углеродистые отложения, образующиеся на нержавеющей стали без покрытия, за счет повышенной адгезии являются трудноудаляемыми с помощью ультразвуковой обработки. Покрытие SilcoKleanTM1000 специально разработано для снижения за-коксованности деталей типа форсунок для впрыска топлива, топливных и масляных линий, форсунок струйных двигателей, поршней, систем рециркуляции выхлопных газов, клапанов, турбинных валов, теплообменников. Покрытие SilcoKleanTM1000 из гидрогенизированного аморфного кремния имеет повы-шенные пластические свойства, по толщине укладывается в допуски на геометрические размеры деталей, обеспечивает для уплотнительных фланцевых соединений герметичность при повышенных температурах.

Цель исследования – доказать эффективность разработанного отечественного кремниевого покрытия SilcoPateks при его нанесении методом хими-ческого осаждения из паровой фазы с плазменной активацией (PACVD) на де-тали машин и оборудования для предотвращения образования углеродистых отложений, связанных с горением топлива, высокотемпературным и окисли-тельным воздействием компонентов масла.

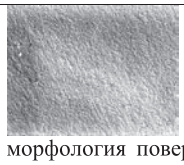
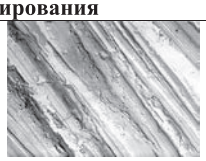
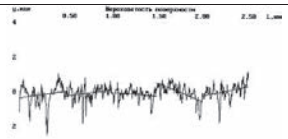
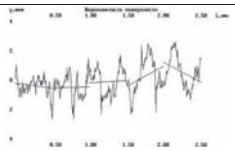
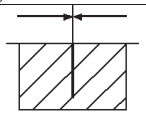
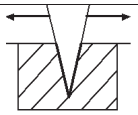
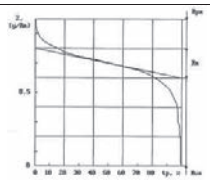
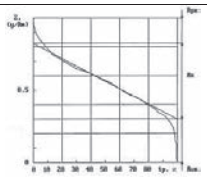
Материалы и методы. В России нанесение кремниевых покрытий с использованием плазмы атмосферного давления, разработанное в ООО «Плазма-центр» и получившее активное развитие, названо плазменным силицированием [6, 7]. С использованием данного процесса разработана технология нанесения многослойного покрытия SilcoPateks из гидрогенизированного аморфного кремния с верхним многослойным покрытием из оксикарбонитрида кремния (a-Si:H-SiOCN). Покрытие предназначено для защиты от высокотемпературной коррозии, от закоксованности, для уменьшения дегазации деталей в вакууме. Также покрытие обладает повышенной износостойкостью, эрозионностойкостью, кавитационностойкостью, абразивостойкостью, что эффективно для резьбовых, уплотнительных соединений и сопряжений трения. Покрытие SilcoPateks по составу близко к широко используемому покрытию SilcoKleanTM1000 и может его заменить.

Для нанесения покрытия SilcoPateks используют химическое осаждение из паровой фазы с активацией плазмой дугового разряда (технология финишного плазменного упрочнения) [8, 9]. Покрытие SilcoPateks специально разработано для защиты от химически активных материалов (серы и серосодержащих соединений, ртути, аммиака, спиртов, ацетатов, гидридов, соляной, азотной, серной кислот и других веществ), которые способны изменять состав, адсорбироваться или взаимодействовать с поверхностным слоем. Также данное покрытие используют для уменьшения образования раз-

личных углеродистых отложений (нагара, лака, шлама), связанных с горением топлива, высокотемпературным и окислительным воздействием компонентов масла. В качестве исходных материалов образцов для исследований применяют антифрикционный легированный чугун марки АХНМД и сталь Р18.

Таблица

Сравнительные характеристики поверхностного слоя после нанесения кремниевого покрытия SilcoPateks и электрохимического хромирования

Свойство поверхности	**После нанесения кремниевого покрытия**	**После электрохимического хромирования**
Морфология поверхности при одинаковой исходной шероховатости R_a = 0,32 мкм (увеличение х5000)	 Данная морфология поверхности уменьшает время приработки и обеспечивает более надежное уплотнение	 Данная морфология поверхности увеличивает время приработки
Профилограмма поверхности	 Параметры R_a, R_{max}, S_m уменьшаются, что характеризует снижение приработочного износа и улучшение теплоотвода	 Параметры R_a, R_{max}, S_m увеличиваются, что характеризует повышение приработочного износа
Нанотвердость	16-24 ГПа	8-10 ГПа
Коэффициент трения со смазкой	0,02-0,03	0,07
Модуль упругости	100-150 ГПа, характеризует повышенную адгезию покрытия к подложке за счет близости модулей упругости (у серого чугуна - 110 ГПа)	300 ГПа
Формирование остаточных напряжений на поверхностях деталей	 На поверхности формируются сжимающие напряжения, способствующие схлопыванию (залечиванию) микротрещин и микродефектов	 На поверхности формируются растягивающие напряжения, способствующие раскрытию микротрещин и микродефектов и их интенсивному выкрашиванию
Кривая опорной поверхности, характеризующая удельные давления на фактической площади контакта	 Кривая становится более пологой с большей площадью контакта	 Кривая становится более крутой с меньшей площадью контакта
Угол смачивания, характеризующий		

Исследования проводили при изучении физико-механических и трибо-

логических свойств, параметров шероховатости, морфологии, остаточных напряжений, угла смачивания и других характеристик поверхностного слоя.

Результаты и обсуждение. Характеристики поверхностей с разработанным кремниевым покрытием в сравнении с электрохимическим хромированием приведены в таблице. При проведении исследований использовали следующее оборудование – электронный микроскоп ЭММА-2, нанотвердомер TI 750Ubi (Hysitron, США), трибометр Tribometer (CSM, Швейцария), прибор для измерения параметров шероховатости Perthometer M1 (Mahr GmbH, Германия), определения угла смачивания OCA 15EC (DataPhysics Instruments GmbH, Германия), измерения остаточных напряжений Ситон-Тест (Россия).

Одно из применений разработанного покрытия связано с повышением ресурса и надежности поршневых колец. Концепция выбора материала покры-тия и технологии его нанесения для упрочнения поршневых колец, поршневых канавок основывалась на использовании финишной операции без окончательной абразивной обработки, на минимизации приработочного износа, на формировании неметаллического покрытия толщиной до 3 мкм с повышенной нанотвердостью и модулем упругости близким к модулю упругости подложки, обеспечивающим коэффициент трения, например, для пары покрытиечугун в условиях граничной смазки не более 0,03. В соответствии с этой концепцией на все поверхности поршневых колец и поршневых канавок наносили многослойное (до 250 слоев) покрытие SilcoPateks с толщиной монослоя 5-50 нм.

Образование покрытия основано на разложении паро́в жидких химических соединений, вводимых в плазму дугового разряда, с образованием атомарного и молекулярного потока частиц в плазмоструйном реакторе. После нанесения покрытия параметры шероховатости деталей не изменяются, нагрев колец не превышает 150 °С.

Результаты испытаний поршневых колец с покрытием SilcoPateks показывают увеличение ресурса ДВС, снижение расхода масла и топлива, уменьше-ние длительности приработки и снижение шума двигателей [10, 11].

Кремниевое покрытие SilcoPateks наносят также на плунжерные и золотниковые пары топливных насосов высокого давления (ТНВД). Положительные испытания данного покрытия получены на деталях ТНВД модели 33-02 двига-теля автомобиля КамАЗ 5320, плунжерных пар ТНВД трактора МТЗ-80 [1, 12]. Экспериментальные стендовые испытания на соответствие допускам тест-планов доказали возможность использования данного покрытия при восстановлении штоков и клапанов мультипликатора, игл распылителя и клапанов форсунки топливных систем Common Rail.

В настоящее время в России имеется достаточно большой парк импортной техники, использующей дизельные двигатели иностранных компаний, таких как Cummins Inc., MTU Friedrichshafen GmbH, Detroit Diesel Co., Deutz AG.

Данные двигатели применяют мировые производители крупнотоннажных автомобилей, дорожно-строительной и специальной техники Caterpillar, Terex, Komatsu, Hitachi, Liebherr. В технике марок БЕЛАЗ и ЧЕТРА также используют двигатели, например, компаний Cummins Inc и MTU Friedrichshafen GmbH. Все эти двигатели имеют дизельную топливную аппаратуру, подверженную износу. На рисунках 1-3 представлены отдельные детали топливной аппаратуры, ис-пользуемые для карьерных большегрузных самосвалов

и машин повышенной проходимости марки БЕЛАЗ, восстанавливаемые путем нанесения покрытия SilcoPateks.

Рис. 1. Блок управления ТНВД (№ 23540850) двигателей MTU 16V4000 (MTU Friedrichshafen GmbH, Германия

Рис. 2. Форсунка (№ 4088427) двигателей Cummins QSK45 (Cummins Inc., США)

Рис. 3. Плунжерная пара (баррель и плунжер) подачи топлива ТНВД (№ 3077526) двигателей Cummins КТА 50, КТТА 38 (Cummins Inc., США)

Выводы. Исследование кремниевого покрытия SilcoPateks показало получение улучшенных характеристик поверхностного слоя по сравнению с электрохими-ческим хромированием, что обеспечивает перспективность его использования для повышения долговечности и надежности деталей цилиндропоршневой группы, а также упрочнения и восстановления золотниковых и плунжерных пар топливных насосов высокого давления.

Библиографический список

1. *Прокошкин Д.А., Арзамасов Б.Н., Рябченко Е.В. Силицирование в тлеющем разряде. В сб.: Диффузионные покрытия на металлах. К.: Наукова Думка. 1965. С. 38-44.*
2. *Тополянский П.А. Нанесение износостойкого покрытия на инструментальные стали и сплавы с использованием высокочастотного индукционного плазмотрона // Металлообработка. 2003. N5 (17). С. 27-33.*

3. Крушенко Г.Г., Фильков М.Н. Повышение срока службы чеканочного инструмента методом плазменного силицирования // Технология металлов. 2015. N3. С. 40-42.

4. Ермаков С.А., Соснин Н.А., Тополянский П.А. Опыт плазменного нанесения тонкопленочных кремнийуглеродосодержащих покрытий. В сб. Применение прогрессивных процессов газотермического напыления в промышленности. Методические рекомендации. Л.: ЛДНТП. 1989. С. 31-35.

5. Altin O., Eser S. Carbon deposit formation from thermal stressing of petroleum fuels // Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc. Div. Fuel Chem. 2004. N 49(2). 764-766.

6. Крушенко Г.Г., Москвичев В.В., Буров А.В. Повышение износостойкости чеканочного инструмента плазменным силицированием. Технология машиностроения. 2004. N5. С. 27-28.

7. Тополянский П.А., Соснин Н.А., Ермаков С.А. Способ нанесения тонко-пленочного покрытия на металлические изделия. Патент на изобретение № 2354743, C23C 8/38, заявл. 28.05.2007, опубл. 10.05.2009.

8. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. 2013. 406 с.

9. Тополянский А.П., Мяконьков М.Б., Сабуров С.А. Исследование триботехнических свойств покрытий для поршневых колец, работающих в паре с чугунной втулкой. Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологиче-ской оснастки от нано- до макроуровня. Материалы 11-й Межд. научн.-практической конференции 14-17 апреля 2009 г. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. Ч. 2. С. 308-311.

10. Мяконьков М.Б., Хмелевская В.Б. Сравнительные исследования способов нанесения покрытий на поршневые кольца для уменьшения их износа. Металлообработка. 2010. N3. С. 36-40.

11. 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. N2. С. 49-51.

12. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Повышение ресурса плунжерных пар ТНВД дизельных энергосредств // Наука в Центральной России. 2014. N3(9). С. 50-56.

References

1. Prokoshkin D.A., Arzamasov B.N., Ryabchenko E.V. Silicization in a Glow Discharge. In the collection Diffusion Coatings on Metals. Kyiv: Naukova Dumka. 1965. P. 38-44.

2. Topolyanskiy P.A. Application of Wear-Resistant Coating on Tool Steels and Alloys Using High-Frequency Induction Plasmatron. Metal Working. 2003. N5 (17). 27-33.

3. Krushenko G.G., Filkov M.N. Increasing Service Life of Stamping Tools by Method of Plasma Silicization. Technology of Metals. 2015. N3. 40-42.

4. Ermakov S.A., Sosnin N.A., Topolyanskiy P.A. Experience of Plasma Application of Thin-Film Silicon-Carbon-Containing Coatings. In the collection Application of Progressive Processes of Gas-Thermal Spraying in Industry. Guidelines. Leningrad: LDNTP. 1989. 31-35.

5. Altin O., Eser S. Carbon deposit formation from thermal stressing of petroleum fuels. Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem. 2004. N49(2). 764-766.

6. Krushenko G.G., Moskvichev V.V., Burov A.V. Increasing Wear Resistance of Stamping Tool by Plasma Silicization. Technology of mechanical engineering. 2004. N5. 27-28.

7. Topolyanskiy P.A., Sosnin N.A., Ermakov S.A. Method of Application of Thin-Film Coating on Metal Products. Patent for Invention No.2354743, C23C 8/38, application no. 28.05.2007, published on 10.05.2009.

8. Sosnin N.A., Ermakov S.A., Topolyanskiy P.A. Plasma Technologies. Manual for Engineers. Publishing House of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 2013. 406.

9. Topolyanskiy A.P., Myakonkov M.B., Saburov S.A. Investigation of Tribotechnical Properties of Coatings for Piston Rings Working in Pairs with Cast-Iron Bushing. Resource-Saving Technologies for Repair, Restoration and Hardening of Machines, Mechanisms, Equipment, Tools and Jigs from Nano- to Macrolevel. Materials of the 11th International Scientific and Practical Conference dated April 14-17, 2009. Saint Petersburg: Edition of SPbSPU. 2009. Part 2. 308-311.

10. Myakonkov M.B., Khmelevskaya V.B. Comparative Studies of Methods of Application of Coatings on Piston Rings to Reduce their Wear. Metalworking. 2010. N3. 36-40.

11. Adigamov N. R., Lyalyakin V. P., Soloviev R. Yu., Sharifullin S. N. Plasma technologies in improving the efficiency of high-pressure fuel pumps of diesel engines. Welding production. 2016. N2. 49-51.

12. Lebedev A.T., Lebedev P.A. Increasing Service Life of Plunger Pairs of Fuel Pump of Diesel Energy. Science in Central Russia. 2014. N3 (9). 50-56.

УДК 631.512.2 контроль-1

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПУТЕМ ЗАЩИТЫ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЗОН ОТ ИНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Сергей Алексеевич Сидоров, доктор технических наук,
nanosid@bk.ru;
Виктор Николаевич Зволинский, инженер
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Основополагающим критерием наступления предельного состояния рабочего органа почвообрабатывающего орудия вследствие воздействия абразивной массы почвы служит линейный износ лезвия по длине, ширине и толщине детали. Аналогичная проблема, приводящая к износу болтовых соединений и снижению усилия их затяжки, существует в зонах крепежных отверстий. (Цель исследования) Разработать предложения по созданию рабочих органов с конструктивно-материаловедческими и технологическими параметрами, обеспечивающими защиту от преждевременного истончения определенных поверхностей, существенно влияющих на уровень необходимых прочностных характеристик при длительном процессе эксплуатации. (Материалы и методы) Объекты исследований – тяжело нагруженные и быстро изнашиваемые детали почвообрабатывающих орудий, такие как лемехи плугов, лапы культиваторов, наральники, лезвия дисков, фрезерные ножи и др. При этом учитывали подобные проблемы с импортозамещающими рабочими органами. (Результаты и обсуждение) Основным результатом проведенных исследова-ний стало соответствие изученных объектов прогнозируемому техническому и технологическому уровню на период до 2030 года. Разработанные материаловедческие, технологические, конструкторские и технические решения обоснованы с практической, технической и экономической точек зрения, подтверждены экспериментальной проверкой. (Выводы) Полученные результаты исследований показали возможность повышения суммарного эксплуатационного ресурса испытанных рабочих органов минимум в 1,5 раза. Необходимый экономический эффект достигнут при твердости материалов основы деталей не ниже 46 HRC; скорости нанесения покрытий 0,5 сантиметров в квадрате в секунду; производительности нанесения по весу – не менее 60 грамм в минуту; твердости наносимого покрытия не менее 59 HRC и коэффициенте относительной износостойкости не менее 3,5. Себестоимость изготовления новых деталей увеличивалась не более чем на 70 процентов.*

Ключевые слова. *материаловедческий, почвообрабатывающий, лемех, лапа, испытания, параметры, измерение, крепеж, импортозамещение, эффективность.*

Для цитирования: *Сидоров С.А., Зволинский В.Н. Повышение прочностных характеристик рабочих органов почвообрабатывающих машин путем защиты определенных зон от интенсивного абразивного изнашивания // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 179-193*

IMPROVING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE WORKING TILLAGE MACHINERY ORGANS BY PROTECTING CERTAIN AREAS FROM INTENSE ABRASIVE WEARS

Sergey A. Sidorov, Dr.Sc(Eng.), nanosid@bk.ru;
Viktor N. Zvolinsky, engineer
Federal agricultural research centre VIM, Moscow,
Russian Federation

Abstract. *The basic criterion for the onset of the limit state of the working body of the tillage tool, due to the impact of abrasive soil mass, is the linear wear of the blade along the length, width and thickness of the part. A similar problem, leading to wear of bolt connections and reduce the tightening force, exists in the areas of fixing holes. (Research purpose) To develop proposals for the creation of working bodies with structural, material and technological parameters that provide protection against premature thinning of certain surfaces that severely affect the level of the required strength characteristics during the long process of operation. (Materials and methods) The research was heavily load-measures and quick-wear parts tillage tools such as chisels plows, paws cultivators, naralniki, blades, discs, milling knives, etc. taking into account such problems with import-substituting working bodies. (Results and discussion) The main result of the research was the compliance of the studied objects with the projected technical and technological level for the period up to 2030. The developed materials science, technological, design and technical solutions are justified from practical, technical and economic points of view, confirmed by experimental verification. (Conclusions) The obtained results showed the possibility of achieving the level of increase in the total operating life of the tested working bodies at least 1.5 times. Obtaining the necessary economic effect is achieved when the hardness of the base materials of the parts is not lower than 46 HRC; coating rate of 0.5 cm^2/sec; application performance by weight – not less than 60 g/min; the hardness of the coating is not less than 59 HRC and the coefficient of relative wear resistance is not less than 3.5. The cost of manufacturing new parts increased by no more than 70%.*

Keyword: *material science, tillage, ploughshare, paw, testing, parameters, measurement, fasteners, import substitution, efficiency.*

For citation: *Sidorov S.A., Zvolinsky V.N. Improving the strength characteristics of the working bodies of tillage machines by protecting certain areas from intense abrasive wear. Technical service of machines. 2019. N.1. P. 179-193. (In Russian).*

Введение. Наряду с общеизвестными фактами наступления предельного состояния рабочих органов почвообрабатывающих орудий, например предельно-го линейного износа детали по ширине; изменения формы детали до недопустимого уровня вследствие неравномерного износа различных частей одного изделия; затупления лезвийной части рабочего органа; возникновения широкой «затылочной фаски» рассматривается еще один фактор – снижение прочности изделия вследствие истончения материала основы рабочего органа в процессе изнашивания [1]. Обычно это наступает при самозатачивании «первого рода» у лезвий с нижним расположением износостойкого слоя, позволяющим работать на твердых почвах. При этом наблюдается интенсивное истончение материала в опасных сечениях, в частности, таких как область расположения крепежных отверстий и других зо-

нах, являющихся причиной отказа (деформации или поломки рабочего органа).

Цель исследования – разработать предложения по созданию рабочих органов с конструктивно-материаловедческими и технологическими параметрами, обеспечивающими защиту от преждевременного истончения определенных поверхностей, существенно влияющих на уровень необходимых прочностных характеристик при длительном процессе эксплуатации.

Материалы и методы. С точки зрения воздействия последствий изнашивания на прочность изделия исследовали тяжело нагруженные, быстро изна-шиваемые детали почвообрабатывающей техники: носовую часть долота и полевую доску лемеха плуга, носовую часть наральника и лапу культиватора; лезвийные части ножей приводных овощных грядообразователей, зоны крепежных отверстий рабочих органов и другие. Материаловедческие, технологические и конструкторские решения обос-новали с практической, технической и экономической точек зрения. После подбора соответствующих материалов и технологий изготовили опытные образцы рабочих органов с повышенными эксплуатационно-прочностными и ресурсными параметрами; провели их лабораторные испытания на износостойкость на машине трения ИМ-01 и на «круговом почвенном стенде» [3].

Достигли повышения суммарного эксплуатационного ресурса минимум в 1,5 раза, что выше либо сравнимо с лучшими зарубежными аналогами. Для получения необходимого экономического эффекта твердость материалов основы деталей была не ниже 46 HRC; скорость нанесения износостойких покрытий на детали не менее 0,5 см^2 /сек; производительность нанесения по весу покрытия наплавленного слоя не менее 60 г/мин; твердость наносимого покрытия не менее 59 HRC; коэффициент относительной износостойкости покрытия – не менее 3,5. При этом себестоимость изготовления новых деталей увеличивалась не более чем на 70%.

Проведение исследований. Основным видом деформации, принимаемым при расчете рабочих органов почвообрабатывающих машин на прочность, считается деформация изгиба. При этом определяющее значение для рабочих органов имеют действующие нормальные напряжения, распределяющиеся в се-чении по линейному закону. Это является следствием закона Гука и гипотезы плоских сечений, согласно которым поперечное сечение при деформации из-гиба остается плоским [11].

Расчет деталей почвообрабатывающих машин на прочность ведут по наибольшим напряжениям σ_{max}, которые должны быть меньше предела текучести (σ_m) или предела прочности ($\sigma_в$) материала рабочего органа, т. е.

$$\sigma max = \frac{M}{W} \leq [\sigma], \text{ МПа} \qquad (1)$$

где ***M*** – максимальный изгибающий момент, действующий на рабочий орган в опасном сечении, ***Н·м; W*** – момент сопротивления сечения рабочего органа при изгибе, ***м***^{3}; ***A*** – максимальное действующее на рабочий орган, в опасном сечении, изгибное (в т. ч. ударное) напряжение, МПа; [σ] – допустимое напряжение, зависящее от характеристик материала рабочего органа ($\sigma_т$,; $\sigma_в$), МПа.

На практике расчет ведут по максимальному значению вероятной нагрузки, в том числе с учетом изгибно-ударных нагрузок, действующих в

опасном сечении детали. Например, для лемеха плуга (рис. 1) опасным сечением считают зону носовой части, близкую к первому крепежному отверстию.

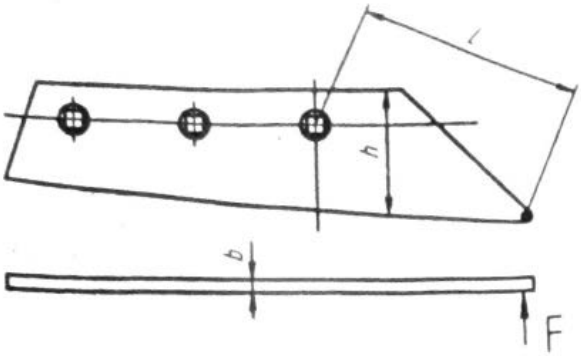


Рис. 1. Расчет лемеха плуга на изгибную прочность

Значение максимального действующего изгибного напряжения σ_{max} сравнивают с пределом текучести (σ_m) материала основы детали:
где ***F*** – максимально возможная в процессе эксплуатации нагрузка, приложенная к носку лемеха, Н (рис. 1); ***l*** – изгибающее плечо, м; $W = \frac{h \cdot b^2}{6}$ – момент сопротивления в опасном сечении лемеха, м^3; ***h*** – ширина лемеха в опасном сечении, м; ***b*** – толщина лемеха в опасном сечении, изменяющая свою величину в процессе эксплуатационного изнашивания, м. Анализ приведенных зависимостей показывает: при уменьшении вследствие износа толщины ***b***, максимальные изгибные напряжения возрастают вплоть до превышения значений $\sigma_т$ в опасном сечении, что может привести к поломке рабочего органа. Известно, что величина износа стального проката определяется зависимостью (3) [2]:

$$U_{(\tau)} = C \cdot P \cdot \tau, \text{мм} \qquad (3)$$

где ***U(τ)*** – износ в направлении действия удельного давления, мм; ***P*** – удельное давление, действующее в зоне приложения нагрузки, МПа; ***C*** – переходный коэффициент, связанный с характеристикой материала, свойствами почвы и др., мм/МПа·га; τ – наработка на рабочий орган, га. Максимально возможное изгибающее напряжение, действующее в опасном сечении почвообрабатывающего рабочего органа, в конкретном случае определяется по формуле:

$$\sigma_{max} = \frac{F \cdot l}{W} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot b^2}, \text{ МПа} \qquad (4)$$

где ***F*** – максимально возможное в процессе эксплуатации усилие от изгибающей нагрузки, действующее в опасном сечении изнашиваемого по толщине ***b*** рабочего органа, Н; ***l*** – плечо действующей изгибающей нагрузки, м; ***h*** – ширина детали в опасном сечении, м; ***b*** – толщина детали в опасном сечении, м. Если за начальную (доэксплуатационную) толщину рабочего органа в опасном сечении принять b_0, то приведенное выше выражение можно записать в виде:

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot (b_0 - U_{(\tau)})^2}, \text{ МПа} \qquad (5)$$

где ($b_0 - U(\tau)$) – мгновенное (с учетом значений наработки) значение тол-

щины детали в опасном сечении, мм. Представленное выражение характеризует обобщенную связь между скоростью изнашивания и прочностными характеристиками детали [12, 13]. Важной характеристикой, определяющей значение U(τ), служит коэффициент ***C*** и его составляющие:

$$C = \frac{\lambda}{P_э K_u K_\tau K_p}, \quad \frac{\text{мм}}{\text{МПа} \cdot \text{га}} \qquad (6)$$

где $P_э = 0,1$ МПа – эталонное удельное давление; K_u – коэффициент относи-тельной износостойкости материала при удельном давлении 0,1-0,12 МПа; K_τ – коэффициент приведения наработки к соответствующей ширине захвата ис-следуемого рабочего органа в сравнении с шириной захвата лемеха плуга; K_p –коэффициент, учитывающий изменение коэффициента относительной износостойкости при изменении величины удельного давления (в свою очередь пропорционального твердости почвы); λ – изнашивающая способность почв, мм/га.

Изнашивающая способность почв λ – это параметр, в наибольшей степени характеризующий влияние почвенных условий на износные и прочностные характеристики рабочих органов, обрабатывающих почву. Он представляет собой износ по толщине элементарной площадки, вырезанной из лезвийной части рабочего органа, изготовленного из стали 45 с твердостью HRC 40, экс-плуатирующегося при эталонном удельном давлении $P_э = 0,1$ МПа и имеющего путь трения 25000 м, соответствующий наработке 1 га для лемеха плуга. Определяется по следующей эмпирической зависимости [13]:

$$\lambda = (X^2 + 0,08 \cdot Y + 1,5 \cdot Z) \cdot T^{1/4}, \text{мм/га} \qquad (7)$$

где ***X, Y, Z*** – процентное содержание в почве (по массе), соответственно, песка, глины и мелких каменистых включений (гравия, гальки и пр.); ***T*** – твердость почвы, МПа. Соответствующее значение удельного давления ***P*** (для расчета $U(\tau) = C \cdot P \cdot \tau$) определяется по зависимости:

$$P = (0,005 \ldots 0,009) \cdot (1 + 0,015 \cdot \varepsilon_0) \cdot (1 + 0,1v) \cdot (0,8 + T), \text{МПа} \quad (8)$$

где ε_0 – угол установки рабочего органа, градус; v – скорость движения рабочего органа (скорость обработки почвы), м/с.

С целью предварительной оценки износостойкости, выражающейся коэффициентом относительной износостойкости различных материалов рабочих органов, провели стендовые испытания специальных образцов прямоугольной формы размером 60х125х6 мм с толщиной твердосплавного слоя 3 мм.

Испытывали следующие материалы образцов рабочих органов почвообрабатывающих машин:

- монометаллические: из сталей 45; 30ХГСА; 30MnB5 (зарубежная разработка; изготовитель – Украина, г. Мариуполь); Ст В1700 (разработчик ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» – г. Санкт-Петербург, опытная);

- наплавленные (основа – сталь 30ХГСА с термообработкой) следующими видами твердых сплавов: ПГ-ФБХ-6-2; ПР-Х30СРНДЮ; ПР-Х17СР4;

ПГ-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + Al (2%), ПР-Х30СРНДЮ (68%) + WC (30%) + Al (2%); ПР-Х17СР4 (70%) + WC (30%).

Испытания проводили на круговом почвенном стенде (рис. 2) по методике, разработанной ранее [3].

Рис. 2. Круговой почвенный стенд конструкции ВИМ для лабораторных испытаний образцов – фрагментов рабочих органов

Химические составы и результаты испытаний материалов, в том числе и импортозамещающих рабочих органов, приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1.

Химические составы исследуемых образцов материалов мо-нометаллических сталей и твердосплавных покрытий

Обозначение (в т.ч. условное) исследуемого твердого сплава или стали	Химический состав, масс. доля, %											
	Основа	Углерод	Хром	Кремний	Марганец	Никель	Медь	Бор	Алюминий	Сера	Фосфор	Карбид вольфрама
Сталь 45	Fe	0,46	0,2	0,27	0,7	0,15	0,1	-	0,05	0,040	0,035	-
Сталь 30ХГСА	Fe	0,31	1,0	1,1	0,45	0,20	0,20	-	0,03	0,025	0,025	-
Сталь 30MnB5	Fe	0,31	-	0,34	1,32	-	-	0,006	-	0,04	0,03	-
Сталь B1700	Fe	0,42	1,21	0,33	1,2	0,77	0,8	0,003	0,04	0,017	0,016	-
ПГ-ФБХ-6-2	Fe	4,5	34,6	2,0	3,2	-	-	2,1	0,4	0,03	0,03	-
ПР-Х30СРНДЮ	Fe	4,69	30,0	3,7	1,2	1,49	0,73	2,15	0,46	0,006	0,03	-
ПР-Х17СР4	Ni	4,8	0,81	17,3	4,3	Основа	-	3,13	-	0,003	0,003	-
ПГ-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + Al (2%),	Fe											30
ПР-Х30СРНДЮ (68%) + WC (30%) + Al (2%)	Fe											30
ПР-Х17СР4 (70%) + WC (30%).	Ni					Основа						30

Испытания проводили в абразивной среде:– песок крупный (67%) + глина (33%) при скоростях движения образцов –2 м/с на глубине хода образцов 14-15 см. Цикл испытаний длился 80 часов; повторность – двухкратная; при разнице значений линейного износа более 5% – трехкратная.

В результате сравнительных лабораторных испытаний определяли при-

ближенные значения коэффициентов относительной износостойкости материалов при изнашивании в абразивной среде.

Таблица 2

Результаты сравнительных лабораторных исследований импортозамещающих рабочих органов почвообрабатывающих машин

Марка, обозначение испытуемого образца (сталь; твердосплавное покрытие	Твердость материала, HRC	Среднее значение линейного износа исследуемого образца с покрытием, мм	Среднее значение линейного износа образца без покрытия (эталона), мм	Коэффициент относительной износостойкости образца, $К_{лин}$	Коэффициент относительной износостойкости покрытия (твердого сплава), расчетный $К_{по}$
Сталь 45 (эталон)	38-41	-	9,0	1,0	-
Сталь 30ХГСА	45-50	8,3	8,9	1,07	-
Сталь 30MnB5	50-52	6,2	9,1	1,47	-
Сталь B1700 (опытная)	51-54	5,5	8,8	1,60	-
ПГ-ФБХ-6-2	58-63	3,7	9,2	2,48	3,51
ПР-Х30СРНДЮ	57-61	3,9	8,9	2,28	3,22
ПР-Х17СР4	57-61	4,1	8,8	2,15	3,04
ПГ-ФБХ-6-2 (68%)+WC(30%) + Al (2%)	59-65	2,7	9,2	3,41	4,82
ПР-Х30СРНДЮ (68%)+WC(30%) + Al (2%)	57-64	3,0	9,2	3,07	4,34
ПР-Х17СР4 (70%) + WC (30%).	57-62	3,2	8,9	2,8	3,96

Для моносталей этот коэффициент равен отношению линейных износов опытного и серийного (опытного) образцов, а для твердых сплавов определяют по приближенной зависимости:

$$К_{по} = К_{лин} \cdot \sqrt{\frac{b_{осн}}{b_{по}}}, \qquad (9)$$

где $K_{по}$ – коэффициент относительной износостойкости твердосплавного покрытия; $K_{лин}$ – коэффициент относительной линейной износостойкости образца; $b_{осн}$, $b_{по}$ – толщины материала основы (стали) и покрытия, мм.

Данная зависимость выведена на основе пропорциональности величины линейного износа почворежущего элемента значению толщины лезвия, взятой в степени 0,5 [12].

Таким образом, приближенно установлено (табл. 2), что коэффициенты относительной износостойкости исследуемых материалов (сталей, сплавов) находятся в пределах 1,07-4,82.

На основании полученных данных сделан вывод, что с целью уменьшения темпов изнашивания в опасных сечениях, обеспечивающих сохранение требуемых прочностных параметров, возможно использование новых материалов основы и защитных упрочняющих покрытий. Теперь можно определить максимальный ресурс детали, характеризуемый значением наработки τ_{max},, исходя из предельных прочностных характеристик в процессе изнашивания по толщине.

Это выражение характеризует связь «ресурс – износ – прочность».

$$\tau_{max} = \frac{1}{C \cdot P_{уд}} \left(b_0 - \sqrt{\frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot [\sigma]}} \right), \text{га} \qquad (10)$$

где $[\sigma]$ – допустимое значение предела прочности (или текучести) материала рабочего органа; **С** – переходный коэффициент, мм/Мпа·га; $\boldsymbol{P_{уд}}$ – удельное давление, действующее в зоне приложения абразивной нагрузки на рабочий орган (консоли), МПа

В таблицах 3, 4 приведены геометрические и силовые характеристики конкретных деталей почвообрабатывающей техники.

Таблица 3.

Геометрические параметры импортозамещающих рабочих органов почвообрабатывающих машин

Наименование нагруженной части рабочего органа	Изгибное плечо, *l*, мм	Толщина материала, b_0, мм	Ширина нагруженной зоны, *h*, мм
Носок (долото) лемеха плуга	150 – 175	10 – 12	110 – 130
Носок стрельчатой лапы культиватора, в т.ч. импортозамещающей	75 – 110	5 – 8	110 – 150
Носок наральника комбинированного агрегата, в т. ч. импортозамещающего	130 – 160	10 – 12	110 – 120
Нижняя зона ножа фрезы, ножа овощного грядообразователя, в т. ч. импортозамещающих	70 – 100	8 – 12	60 – 80

Таблица 4.

Усилия, действующие на носовые части рабочих органов почвообрабатывающих машин, ***Н***

Наименование нагруженной части рабочего органа	Обычное эксплуатационное усилие, *F*, Н	Максимальное ударное усилие, являющееся причиной поломки, *F*, Н
Носок (долото) лемеха плуга	1500-2700	4500-6500
Носок стрельчатой лапы культиватора, в т. ч. импортозамещающей	700-1200	2000-3300
Носок наральника комбинированного агрегата, в т. ч. импортозамещающего	1400-1900	3100-4300
Нижняя зона ножа фрезы, ножа овощного грядообразователя, в т.ч. импортозамещающего	500-900	1600-3000

Основным направлением защиты поверхностей деталей почвообрабатывающих машин в зонах опасных сечений от интенсивного абразивного изнашивания становится выбор параметров, используемых при изготовлении деталей материалов (их геометрических и физико-механических характеристик), защитных покрытий, защитных приставок (вставок) и др. Наиболее важными характеристиками являются толщины применяемых материалов. Из выражения связи «ресурс – износ – прочность» (9), выразим значение базовой толщины детали в опасном сечении:

$$b_0^{план} = C \cdot P_{уд} \cdot \tau_{max} + \sqrt{\frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot [\sigma]}}, \text{мм} \qquad (11)$$

где $b_0^{план}$ – базовая (плановая) толщина материала детали, мм (м); τ_{max} – максимальная (плановая) наработка на деталь в данных почвенных условиях, га.

Выражение под корнем квадратным характеризует минимальное для характеристики прочности стали $[\sigma]$ значение толщины изделия в опасном сечении, а первое слагаемое ($C \cdot P_{уд} \cdot \tau_{max}$), соответственно, переменную составляющую толщин изделия, зависящую от темпов изнашивания. Данное выражение характерно для монометаллических сталей, используемых при изготовлении рабочих органов без упрочняющих покрытий.

В случае использования защитного наплавочного упрочнения, дополнительно нанесенного на моносталь, выражение (11) трансформируется в

$$\rho + b_0^{план} = C_1 \cdot P_{уд} \cdot \tau_1 + C_2 \cdot P_{уд} \cdot \tau_2 + \sqrt{\frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot [\sigma]}}, \text{ мм} \quad (12)$$

где – выбранная (расчетная) толщина наплавленного упрочняющего слоя, мм (м); C_1 – переходный коэффициент, характеризующий условия изнашивания упрочняющего слоя, мм/МПа·га; C_2 – переходный коэффициент, характеризующий условия изнашивания моностали, мм/МПа·га; τ_1 – максимальная наработка изделия до полного изнашивания упрочняющего слоя, толщиной ρ, га; τ_2 – максимальная плановая наработка на деталь после изнашивания упрочняющего слоя, га;

$$\tau_{max} = \tau_1 + \tau_2 . \quad (13)$$

Для удобства анализа обозначим составляющие слагаемых в выражении (12):

$$C_1 \cdot P_{уд} \cdot \tau_1 = \rho; \quad C_2 \cdot P_{уд} \cdot \tau_2 = b_0^{и}; \quad \sqrt{\frac{6 \cdot F \cdot l}{h \cdot [\sigma]}} = b_0^{min}; \; b_0^{план} = b_0^{и} + b_0^{min}. \quad (14)$$

По предложенным зависимостям методом подбора выбирают характеристики и геометрические параметры наплавочного слоя (ρ; C_1) и моностали ($b_0^{и}$; b_0^{min}) рабочего органа. Основная разница в значениях переходных коэффициентов C_1 и C_2, состоит в различиях значений коэффициентов относительной износостойкости используемых материалов (твердого сплава; моностали). Значение величины наработки выбирают исходя из значения максимальной величины, соответствующей ресурсу детали по критерию линейного износа.

Основные мероприятия по защите от поломки и деформации определенных поверхностей деталей почвообрабатывающей техники состоят в следующем:

- выборе физико-механических и геометрических характеристик материала основы деталей;
- введении конструктивных утолщений или накладок (например, накладное долото лемеха и др.).
- проведении защитной наплавки твердого сплава с определенными геометрическими (толщиной и шириной) и физико-механическими (коэффициент относительной износостойкости) характеристиками [4-18].

Изготовление образцов. Согласно разработанной методике выбора конструктивно-материаловедческих параметров рабочих органов с повышенными прочностными характеристиками в их опасных сечениях в процессе изнаши-ва-

ния изготовили и испытали опытные партии рабочих органов, в том числе с защитными твердосплавными покрытиями. Для проведения эксплуатационно-ресурсных испытаний и технологических исследований создали пять типоразмеров опытных изделий четырех видов, всего 106 рабочих органов, в том числе:

- 8 лемехов отечественного плуга (рис. 3), у которых кроме собственной наплавки сплавом ПГ-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + AL(2%) дополнительную прочность носка лемеха и области крепежных отверстий обеспечивали 8 накладных долот из сталей 30ХГСА и 30MnB5 толщиной 10 и 12 мм;
- 32 фрезерных ножа (импортозамещающего грядообразователя) с защитным твердосплавным покрытием ПГ ФБХ-6-2 (68%) WC (30%) + AL (2%) + с 3-х сторон (снизу, спереди и с торца) (рис. 4), предохраняющего в начальный период эксплуатации от износа основного металла – стали 30ХГСА;
- 6 наральников комбинированного агрегата «Смарагд» фирмы «Лемкен» (рис. 5) с защитой зоны крепежных отверствий наплавочным слоем ПГ-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + AL(2%);
- 20 импортозамещающих лап культиваторов фирмы «Белотта» толщиной 6 мм и «Квернеланд» – 8 мм (рис. 6) с защитным твердосплавным слоем ПГ-ФБХ- 6-2 в области передней зоны лап и первого крепежного отверстия.

a)

b)

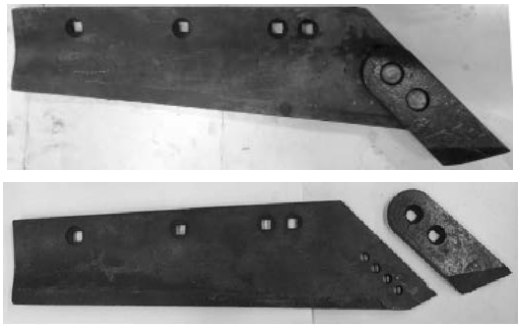


Рис. 3. Лемеха отечественного плуга с накладным долотом

Рис. 4. Фрезерный нож грядообразователя Jones Engineering (Англия)

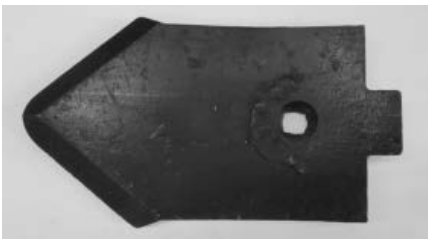


Рис. 5. Наральник комбинированного агрегата Smaragd фирмы LEMKEN

Полевые испытания проводились в различных почвенных зонах, на образцах орудий, изнашивание рабочих органов которых обычно приводит к нарушению их прочности и работоспособности, а именно, грядообразова-

телей фирмы Jones Engineering (Англия), комбинированного агрегата Smaragd фирмы LEMKEN (Германия), полевых культиваторов фирмы Kverneland (Норвегия), отечественных плугов и др.

а) *б)*

Рис. 6. Стрельчатые лапы культиваторов: а) фирмы Bellottii (Испания) – лист 6 мм; б) Kverneland (Норвегия) – лист 8 мм.

Технологические мероприятия по нанесению твердосплавных покрытий на местные участки деталей, осуществлялись на экспериментальной установке плазменной дуговой наплавки.

Разработки, полученные в ходе проведенных НИР, можно использовать для организации мелкосерийного и серийного производства тяжело нагруженных деталей для сельскохозяйственных и других машин с формируемым нано-структурным состоянием повышенной прочности и износостойкости.

Результаты и обсуждение. Опытные образцы плужных лемехов с накладным долотом испытывали на полях Владимирской области на тяжелых супесчаных почвах с мелкокаменистыми и крупнокаменистыми включениями и высокой изнашивающей способностью. Математическое значение изнашивающей способности почв «λ» составляло 0,58-0,67 мм/га.

Накладное долото, особенно при креплении на крепежных отверстиях, обеспечивающих минимальный вылет долота (2,5-3,0 см), (рис. 3), полностью защитило от износа опасное сечения лемеха в зоне, близкой к первому крепежному отверстию лемеха. Износ в опасном сечении лемеха практически отсутствовал и не превышал по толщине 0,5 мм. В сравнении с серийными лемехами, вышедшими из строя вследствие поломки в опасном сечении, ресурс по прочности повышен минимум в 2,0 раза.

При этом износ самого долота по толщине сечения был значительным. После наработки на корпус плуга 8-10 га износ долота по тол-щине достигал 5-6 мм (т.е. составил около 50 % от первоначальной толщины долота). При выдвижении такого долота (при линейном износе) в отдельных случаях имели место его обломы ввиду недостаточной прочности, связанной с уменьшением толщины долота вследствие износа.

Для дополнительного по-вышения ресурса именно накладного долота целесообразно провести защиту наплавочным твердосплавным упрочнением (сплавом ПГ-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + Al (2%)) первого крепежного отверстия долота аналогично тому, как проведена подобная защита у наральника культиватора Smaragd фирмы LEMKEN (рис. 5).

Для эксплуатации на почвах с содержанием песка более 60-70% и наличием гальки рекомендуем провести наплавку лезвия долота тем же твердосплавным покрытием с верхней лицевой стороны (а не с нижней, как у базового варианта); при этом лицевая сторона долота будет лучше защищена от изнашивания по толщине.

Импортозамещающие ножи фрезы овощного и картофельного грядообразователя фирмы Jones Engineering (Англия) испытывали на почвах среднесуглинистого механического состава с твердостью 2,1-2,6 МПа на глубине обработки до 15 см в ЗАО «Совхоз имени Ленина» (Ленинский район Московской области. По результатам испытаний за один сезон ножи показали высокую работоспособность с защитным (с лицевой стороны) покрытием. Следов линейного износа на упрочненных защитным покрытием ножах фрезы за первый сезон работы практически не замечено (рис. 4).

Таким образом, защитное твердосплавное покрытие на лицевой стороне ножей грядообразователя обеспечивает сохранение эксплуатационной прочности детали до предельного изнашивания по линейным параметрам.

Ножи без защитного упрочняющего покрытия с лицевой стороны, которые при сохранении линейных параметров теряют прочностные характеристики ввиду интенсивного изнашивания с лицевой стороны, фактически достигли предельного состояния, не доработав положенного ресурса до предельных параметров по ширине лезвия, т.е. фактически меньше в 1,8-2,0 раза. мпортозамещающие наральники комбинированного агрегата Smaragd фирмы LEMKEN с защитой зоны крепежных отверстий (рис. 5) испытывали в ЗАО «Раменье» (Дмитровсий район Московской области) на почвах тяжело- и среднесуглинистого механического состава с твердостью 2,6-3,2 МПа на глубине обработки до 18 см. Значение изнашивающей способности почв «λ», составляло 0,43-0,48 мм/га.

Результаты испытаний показали, что защитный твердосплавный слой служит преградой для изнашивания наральника в зоне крепежных отверстий по толщине, существенно ослабляет воздействие абразива на отверстия. При наработке 14 га на изделие износ наральников в зоне первого кре-пежного отверстия по толщине составил не более 0,2-0,3 мм, что не превышает 1,7-2,5% от первоначальной толщины наральника.

Таким образом, защитное твердосплавное покрытие наральника в зоне первого крепежного отверстия гарантированно обеспечивает заданные прочностные параметры изделия на протяжении предельной наработки, соответствующей износу лезвия наральника по линейным параметрам. Повышение ресурса по прочности составило не менее 1,5 раз.

В целом результаты испытаний показали, что разработанные мероприятия по защите определенных поверхностей конкретных деталей почвообрабатывающей техники от интенсивного абразивного почвенного изнашивания эффективны и позволяют сохранить для исследуемых изделий близкие к базовым характеристики прочности на протяжении всего периода эксплуатации деталей.

Выводы:

1. Разработана экспериментально-теоретическая фундаментальная зави-симость «прочность – износ – ресурс» между скоростью изнашивания деталей для почвообрабатывающей техники в опасном сечении и характеристиками ее прочности.

2. Получена важная расчетная зависимость по определению значений предельной наработки (ресурса) рабочих органов, исходя из условий сохранения прочности в опасных сечениях при интенсивном абразивном почвенном изнашивании.

Ряд практических значений материаловедческих характеристик используемых материалов (сталей, твердых сплавов) рабочих органов (коэффици-

ента относительной износостойкости материалов) получены по результатам проведенных лабораторных испытаний на износостойкость.

3. Изучены и представлены геометрические параметры и нагрузочные усилия на конкретные типы наиболее распространенных рабочих органов поч-вообрабатывающих машин, которые необходимы для включения их в разработанные расчетные зависимости.

4. Разработана методика выбора конструктивных и материаловедческих параметров рабочих органов исходя из условий сохранения прочности в опас-ных сечениях при интенсивном абразивном почвенном изнашивании.

5. Разработаны способы защиты определенных поверхностей конкретных деталей почвообрабатывающих машин от интенсивного абразивного из-нашивания для сохранения их базовых прочностных параметров в опасных сечениях.

6. По разработанным конструктивным и материаловедческим параметрам изготовлены опытные партии пяти типоразмеров четырех видов наиболее распространенных рабочих органов почвообрабатывающих машин, с которыми существуют проблемы с потерей прочности в процессе изнашивания, с различными вариантами защиты. По трем из них проведены проверочные сравнительные эксплуатационные полевые испытания.

7. По некоторым деталям (накладным долотам отечественных лемехов плугов) необходимо провести дополнительные защитные мероприятия, связав их с типами почв, на которых эксплуатируются рабочие органы.

Библиографический список

1. Исследование материалов деталей сельхозмашин: Труды ВИСХОМ / науч. ред. Рабинович И.П., Тененбаум М.Н., Торнер Р.В. М: ВИСХОМ. 1969. 205 с.

2. Резание грунтов. Сборник статей / под ред. Спиваковского А.О., Зеленина А.Н. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1951. 158 с.

3. Лискин И.В., Миронов Д.А., Курбанов Р.К., Обоснование параметров искусственной почвенной среды для лабораторных исследований изнашивания лезвия// Селькохозяйственные машины и технологии. 2017. N4. С. 22-27.

4. Фоминский Л.П., Левчук М.В., Вайсман А.Ф., Фадеев С.Н., Сидоров С.А. Наплавка рабочих органов сельхозмашин с помощью электронного ускорителя // Сварочное производство. 1987. N1. С. 4-6.

5. 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 сельскохозяй-ственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем. М.: ВИМ. 2012. С. 229-234.

6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. N2. С. 80-81.

7. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Кузнецов П.А. Формирование наноструктурированных состояний для рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием средств автоматизации // Сборник научных докладов ВИМ. 2010. Т. 2. С. 407-416.

8. Сидоров С.А. Применение наноплазменных технологий нанесения по-крытий и обработки материалов деталей сельхозмашин // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. N2. С. 42-44.

9. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Хлусова Е.И., Рябов В.В. Новые материалы и технологии нанесения твердосплавных покрытий для деталей почвообрабатывающих машин // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. N2. С. 66-69.

10. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Хлусова Е.И. Наплавочные методы повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельхозмашин // Сварочное производство. 2015. N10. С. 35-40.

11. Биргер Ч. А., Шорр Б. Ф., Иоселевич Г. Б. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. М: Машиностроение. 1979. 702 с.

12. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин на прочность и надежность/под ред. Волкова П.М., Тененбаума М.М. М. Машиностроение. 1977. 310 с.

13. Сидоров С.А. Методика расчета на износостойкость моно- и биме-таллических почворежущих рабочих органов // Тракторы и сельхозмашины. 2003. N12. С. 95-98.

14. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P.,, Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A, Metallurgist. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide 2018. T. 61. № 11-12. p. 1023-1028.

15. 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.

16. Елизаров В.П., Артюшин А.А. Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники //Вестник ВИЭСХ. 2018. 2(31) С. 12-18.

17.Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур //Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т.12.N3.С. 45-52.

18. Жалнин Э.В. Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т.12. N2. С. 4-8.

References

1. Investigation of the details of the machinery: Works VISKHOM / Scientific editors Rabinovich I.P., Tenenbaum, M.N., Torner R.V. Moscow: VISKHOM. 1969. 205 c.

2. Soil cutting: Collection of articles / edited by Spivakovsky A.O., Zelenina A.N. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences. 1951. 158.

3. Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Substantiation of parameters of artificial soil environment for laboratory studies of wear and tear. Agricultural machinery and technology. 2017. N4. 22-27.

4. Fominskiy L.P., Levchuk M.B., Vaisman, A.F., Fadeev S.N., Sidorov S.A. Surfacing the working bodies of agricultural machines using an electron accelerator. Welding production. 1987. N1. 4-6.

5. Izmailov A.Yu., Lobachevsky J.P., Sidorov S.A., Horoshenkov V.K., Mironov D.A., Rodionova I.G., Kuznetsov P.A., Golovenko S.A., Bobkova T.I., Deev A.A. Chernobaev S.P., Pichuzhkin S.A., Ryabov V.V., Kudryavtseva I.V., Yurkov M.A. On the application of new nanomaterials for working bodies of tillage machines. In the collection: the Modernization of agricultural production on the basis of innovative machine technologies

and the automated systems. Moscow: VIM. 2012. 229-234.

6. Izmailov A.Yu., Lobachevsky I.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova E.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. The use of bimetallic steels to increase the resource of working bodies of agricultural machines. Vestnik of the Russian Academy of agricultural Sciences. 2013. N2. 80-81.

7. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevsky I.P., Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T. Kuznetsov P.A. Formation of nanostructured States for working bodies of tillage machines using automation. Collection of scientific reports VIM. 2010. Vol. 2. 407-416.

8. Sidorov S.A. Application nanoplasmonic of coating technologies and materials processing details of agricultural machines. Agricultural machinery and technology. 2009. N2. 42-44.

9. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevsky I.P., Khoroshenkov V.K., Khlusova E.I., Ryabov V.V. New materials and technologies for the application of hard-alloy coatings for parts of tillage machines. Vestnik of Russian agricultural science. 2016. N2. 66-69.

10. Sidorov S.A., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Khlusov E.I. Surfacing methods to increase the service life of quick-wear of the working bodies of agricultural machinery. Welding production. 2015. N10. 35-40.

11. Birger C.A., Shorr B.F., Iosilevich G.B. Calculation of the strength of machine parts. Handbook. Moscow: Engineering. 1979. 702.

12. Fundamentals of the theory and calculation of agricultural machines for strength and reliability / edited by Volkov P.M., Tenenbaum M.M. Moscow: Mechanical engineering. 1977. 310.

13. Sidorov S.A. The method of calculating the wear resistance of mono- and bimetallic soil-cutting working bodies. Tractors and agricultural machinery. 2003. N12. 95-98.

14. Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P.,, Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A, Metallurgist. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide 2018. T. 61. № 11-12. p. 1023-1028.

15. 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. p.1290-1294.

16. Elizarov V.P., Artyushin A.A. Tsench Yu.S. Perspective directions of development of domestic agricultural equipment. Vestnik VIESH. 2018. 2 (31) pp. 12-18.

17. Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S., Trends and prospects for the development of domestic technology for planting crops // Agricultural machinery and technology. 2018. T.12.N3.S. 45-52.

18. 1Zhalnin E.V. Tsench Yu.S., Pyanov VS. Technique for analyzing the technical level of combine harvesters by functional and structural parameters // Agricultural Machines and Technologies. 2018. V. 12. N2. p. 4-8.

УДК 631.3.005.934.4

АНАЛИЗ АДДИТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ДЕТАЛЕЙ

Иван Григорьевич Голубев[1], доктор технических наук, профессор, e-mail: golubev@rosinformagrotech.ru;
Владимир Васильевич Быков[2], доктор технических наук, профессор;
Михаил Иванович Голубев[2], кандидат технических наук, доцент;
Иван Алексеевич Спицын[3], доктор технических наук, профессор
[1]Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, р. п. Правдинский, Московская область, Российская Федерация;
[2]Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Мытищи, Московская обл., Российская Федерация;
[3]Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Российская Федерация

Реферат. *Мировым трендом и наиболее динамично развивающимся направлением цифрового производства стало применение аддитивных технологий (АТ). (Цель исследования) Проанализировать рынок и модели аддитивного оборудования для 3D-печати полимерных и металлических деталей, а также возможности принтеров зарубежных и российских производителей для изготовления и ремонта деталей сельскохозяйственной и лесохозяйственной техники. (Материалы и методы) Проведен анализ открытых информационных источников по использованию аддитивных технологий. Большое внимание уделено изучению и анализу принтеров для 3D-печати, представленных на различных выставках. (Результаты и обсуждение) Исследовали рынок аддитивного оборудования для 3D-печати полимерных и металлических деталей. Установили, что рынок установок 3D-печати делится на три сегмента. Самые высокие темпы роста отмечаются для дешевых 3D-принтеров. Второй набор технологий предназначен для создания прототипов деталей. Дешевые и средние по стоимости установки обычно ориентированы на полимерные материалы. Установки высокого класса, составляющие третий сегмент, позволяют изготавливать полимерные, металлические и керамические детали. Подавляющее большинство реализованных принтеров работают с полимерами. По данным «Микромет», больше всего аддитивных машин установлено в США, Японии и Германии. Российский рынок аддитивного оборудования только начинает формироваться. Согласно информации Wohlers, с 1988 по 2016 год в России установлено 1,4 процентов всех аддитивных машин. Минпромторг России считает, что в Российской Федерации эксплуатируется около 600-650 промышленных 3D-принтеров, из них 10% работают с металлом. (Выводы) Привели характеристики моделей принтеров зарубежных и отечественных производителей SLA, FDM и PoLyJet. Они могут быть использованы для изготовления и ремонта деталей, в том числе сельскохозяйственной и лесохозяйственной техники.*

Ключевые слова: *аддитивные технологии, оборудование, принтеры, детали, 3D-печать.*

Для цитирования: *Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И., Спицын И.А. Анализ аддитивного оборудования для 3D-печати деталей // Технический сервис машин. 2019.N.1. С. 194-200.*

ANALYSIS OF ADDITIVE EQUIPMENT FOR 3D PRINTING OF PARTS

Ivan G. Golubev[1], Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: golubev@rosinformagrotech.ru;
Vladimir V. Bykov[2], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Mikhail I. Golubev[2], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Ivan A. of Spitsyn[3], Dr.Sc.(Eng.), professor
[1] Russian research institute of information and technical and economic researches on technical providing agro-industrial complex, genitive Pravdinsky, Moscow region, Russian Federation;
[2] Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University (national research university), Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation;
[3]Penza state agrarian University, Penza, Russian Federation

Abstract. *The world trend and the most dynamically developing direction of "digital" production is the use of additive technologies (at). (Research purpose) to Analyse the market and models of the additive equipment for 3D printing of polymer and metal details and also a possibility of printers of foreign and Russian producers for production and repair of details of the agricultural and forestry and landscape machinery. (Materials and methods) The analysis of the additive equipment market for 3D printing of polymer and metal parts is given. It is established that the market of 3D printing installations is divided into three segments. (Results and discussion) Investigated the market of the additive equipment for 3D printing of polymer and metal details. Established that the market of the 3D installations - the seals is divided into three segments. Cheap and average cost of installation is usually focused on polymeric materials. High-class installations, which make up the third segment, allow to produce polymer, metal and ceramic parts. The vast majority of realized printers work with polymers. According to "Micromet" most additive machines installed in the United States, Japan and Germany. The Russian market of additive equipment is just beginning to take shape. According to Wohlers, since 1988 and 2016, Russia is set to 1.4% of all the additive machines. The Ministry of industry and trade of Russia believes that the Russian Federation operates about 600-650 industrial 3D-printers, 10% of them work with metal. (Conclusions) The article presents the characteristics of models of printers of foreign and domestic manufacturers SLA, FDM and PoLyJet and others. They can be used for the manufacture and repair of parts, including agricultural and forestry equipment.*

Keywords: *additive technologies, equipment, printers, details, 3D printing.*

For citing: *Golubev I.G., Bulls V.V., Golubev M.I., Spitsyn I.A. Analysis of additive equipment for 3D-printing of parts. Technical service of cars. 2019. N.1. P. 194-200. (In Russian).*

Введение. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 31 марта 2017 г. № 396) и изменения, внесенные в Государственную программу (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 13 декабря 2017 г. № 1544), направлены на решение проблем развития агропромышленного комплекса (АПК) страны и обеспечения ее продовольственной безопасности. Запланированные коэффициенты обновления тракторов в сельскохозяйственных организациях в 2020 году должны составить 2,9%, зерноуборочных комбайнов – 4,7, кормоуборочных комбайнов – 4,3%. В Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.09.2018 г. № 1989-р) также указано, что одним из сдерживающих факторов развития лесопромышленного комплекса (ЛПК) стала устаревшая материально-техническая база. Работающий парк машин и оборудования имеет большой износ, а зачастую морально устарел. Для научно-технологической модернизации отраслей АПК и ЛПК распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 июля 2017 г. № 1455-р утверждена Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) указано, что приоритетами и перспективами научно-технологического развития Российской Федерации в ближайшие 10-15 лет является переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, а также создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Одно из наиболее динамично развивающихся направлений цифрового производства – применение аддитивных технологий [1-3]. По данным исследовательской компании «Frost & Sullivan», объем рынка АТ превышает $5 млрд, а после 2025 года будет составлять более $21 млрд. Страны – технологические лидеры (США, Германия, Великобритания, Япония и другие) суммарно контролируют более 50% мирового рынка аддитивного производства. На долю России пока приходится порядка 1% рынка. Аддитивное производство представляет собой класс перспективных технологий изготовления деталей по трехмерной компьютерной модели путем последовательного нанесения материала. Детали производят непосредственно по компьютерному файлу, содержащему виртуально нарезанную на тонкие слои 3D-модель, который передается в АТ-систему для послойного формирования конечного изделия. Основные преимущества аддитивных технологий перед традиционными: сокращение трудоемкости изготовления, сроков и себестоимости проектирования и изготовления детали, экономия материалов. В последние годы в России активно ведут исследования в этом направлении, и получены первые результаты практического использования АТ. Появились отечественные модели высокопроизводительных аддитивных машин, где наряду с импортными комплектующими используют российское программное обеспечение. Мировой опыт демонстрирует большие возможности применения АТ в сельскохозяйственном машиностроении, в том числе для изготовления прототипов (макетов) и литейных форм, 3D-печати

деталей из полимерных, металлических и керамических материалов. Перспективно применение аддитивных технологий при изготовлении следующей номенклатуры деталей: пластиковые корпуса приборов; комплектующие гидравлического оборудования (уплотнения направляющих поршней и поршни гидроцилиндров, разъемные соединения, детали гидрораспределителей, насосов и гидромоторов); изготовление патрубков систем охлаждения и питания двигателя; шарнирные детали навесного рабочего оборудования; подшипники скольжения и др. Появились публикации об использовании аддитивных технологий при ремонте машин, в том числе при восстановлении и упрочнении деталей [3-7].

Цель исследования – проанализировать рынок и модели аддитивного оборудования для 3D-печати полимерных и металлических деталей, а также возможности принтеров зарубежных и российских производителей для изготовления и ремонта деталей сельскохозяйственной и лесохозяйственной техники.

Материалы и методы. Провели анализ открытых информационных источников по использованию аддитивных технологий. Большое внимание уделили изучению и анализу принтеров для 3D-печати, представленных на различных выставках, в том числе международной специализированной выставке «Станкостроение-2017» (МВЦ Крокус Экспо, 10-13 октября 2017 г.), «Аддитивные технологии и 3D-печать в промышленности (ЦВК «Экспоцентр», 23-26 января 2018), международной специализированной выставке «Оборудование и технологии обработки конструкционных материалов» «Технофорум-2019» (ЦВК «Экспоцентр», 22-25 октября 2018), выставке аддитивных технологий в промышленности «3D fab + print Russia», которая проходила в рамках 22-й Международной специализированной выставки пластмасс «Интерпластика 2019» (ЦВК «Экспоцентр», 29 января – 1 февраля 2019) и других.

Результаты и обсуждение. Рынок установок 3D-печати делится на три сегмента. Самые высокие темпы роста отмечаются для дешевых 3D-принтеров, ориентированных на создание концептуальных макетов и пригодных для эксплуатации в офисной среде. Второй набор технологий предназначен для создания прототипов деталей. Дешевые и средние по стоимости установки обычно ориентированы на полимерные материалы. Установки высокого класса, составляющие третий сегмент, позволяют изготавливать полимерные, металлические и керамические детали. Главной страной-производителем аддитивного оборудования является Израиль (его доля превышает 35%), где базируется крупнейшая в мире АТ-компания Stratasys. Подавляющее большинство реализованных принтеров работают с полимерами. Согласно данным «Микромет», больше всего аддитивных машин установлено в США, Японии и Германии. Российский рынок аддитивного оборудования только начинает формироваться [8, 9]. По информации Wohlers, с 1988 по 2016 год в России установлено 1,4% всех аддитивных машин. Минпромторг России считает, что в Российской Федерации эксплуатируется около 600-650 промышленных 3D-принтеров, из них 10% работают с металлом. Эксперты Всероссийского НИИ авиационных материалов (ВИАМ) заявляют, что доля России на мировом АТ-рынке составляет примерно 1,5%.

Наибольшее распространение получает 3D-печать деталей из полимерных материалов на принтерах SLA, FDM и PoLyJet и других [3]. Технологию SLA (Stereolithography Apparatus) реализуют промышленные стерео-

литографические 3D-принтеры на фотополимерной смоле, использующие ультрофиолетовый лазер со светодиодной накачкой. Технологию SLS (Seiective Laser Sintering – Селективное лазерное спекание) реализуют промышленные 3D-принтеры для печати деталей порошком нейлона (полиамида) и полипропилена. Технические параметры некоторых промышленных 3D-принтеров SLS-N для печати деталей порошком нейлона (полиамида) и полипропилена приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические параметры некоторых промышленных 3D-принтеров SLS-N для печати деталей порошком нейлона (полиамида) и полипропилена

Модель	SLS-320N	SLS-420N
Мощность лазера, Вт	30	55
Толщина слоя печати, мм	0,08-0,2	0,08-0,2
Потребляемая мощность, кВт	2	3
Габаритные размеры, мм	X1950 Y1150 Z2350	X1950 Y1250 Z2200

Группа компаний Солвер (официальный дилер фирмы Stratasys в России) рекомендует для 3D-печати полимерных деталей принтеры FDM и PoLyJet. Характеристика некоторых 3D принтеров PoLyJet даны в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика некоторых 3D-принтеров PoLyJet

Наименование показателя	Objet 24	Objet 1000 Plus
Максимальный размер создаваемой модели , мм	234+192+148,6	1000+800+500
Габариты, мм	825+620+590	1960+2868+2102
Масса, кг	93	2200

Российская компания «Анизопринт» начала продажу 3D-принтеров Composer. Специальная печатная головка с двумя соплами позволяет не только печатать обычным пластиком, но| и армировать его во время печати непрерывными углеродными волокнами, что делает материал в 25 раз прочнее и жестче по сравнению с чистым пластиком. Composer позволяет армировать различные пластики. Подготовка моделей и запуск печати может осуществляться с локального компьютера [10].

Технологию SLM (Seiective Laser Melting-Селективная лазерная плавка) реализуют промышленные 3D-принтеры для печати металлом. В них применяется оптоволоконный лазер непрерывного действия. Технические параметры некоторых промышленных 3D-принтеров SLM для печати металлом показаны в таблице 3.Технологию LDM (Laser Metal Deposition – Лазерное осаждение металла) реализуют промышленные 3D-принтеры печати металлом LDM, в которых применяют оптоволоконные лазеры. Компания «Лазеры и Аппаратура» совместно с научным центром АО «НПЦ газотурбиностроения «Салют» разработали машину МЛ7-1 с волоконным лазером мощ-

ностью 1500-4000 Вт для аддитивного производства изделий из металлического порошка МЛ7-1. Скорость построения детали достигает 0,6 м/мин.

Таблица 3

Технические параметры некоторых промышленных 3D-принтеров SLM для печати металлом

Модель	SLM-100	SLM-150	SLM-280
Размер камеры построения, мм	X100 Y1000 Z100	X150 Y150 Z200	X250 Y250 Z300
Потребляемая мощность, кВт	4	5	6
Толщина слоя печати, мкм	10-40	20-60	20-80
Габариты принтера, мм	X1600 Y1100 Z2100	X2000 Y1250 Z2100	X2100 Y1300 Z2250
Масса принтера, кг	850	1500	2000

В качестве расходных материалов для ремонта деталей двигателей, пресс-форм, изготовления изделий сложной формы можно применять материалы в порошковой форме, в том числе хромоникелевые сплавы, кобальт-хромовые сплавы и другие.

Выводы. Для 3D-печати полимерных и металлических деталей разработаны и используются различные принтеры зарубежных производителей SLA, FDM и PoLyJet и другие. Для 3D-печати полимерных деталей российская компания «Анизопринт» разработала 3D-принтер Composer, а компания «Лазеры и Аппаратура» совместно с научным центром АО «НПЦ газотурбиностроения «Салют» машину для аддитивного производства изделий из металлического порошка МЛ7-1, которую можно использовать для изготовления и ремонта деталей. Применение аддитивного оборудования позволит значительно повысить эффективность технологических процессов производства и ремонта сельскохозяйственной и лесохозяйственной техники.

Библиографический список

1. *Кукушкин В.А. Аддитивные технологии в машиностроении // Аддитивные технологии. 2017. N1. С. 20-23.*
2. *Зленко М.А., Ногайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: Пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. 220 с.*
3. *Федоренко В.Ф., Голубев И.Г. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники. М.: Росинформагротех. 2018. 140 с.*
4. *Голубев И.Г., Голубев М.И., Быков В.В. Перспективы применения аддитивных технологий при восстановлении деталей транспортных и технологических машин / В сб.: «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства». Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2018. С. 87-91.*
5. *Голубев И.Г., Спицын И.А., Быков В.В., Голубев М.И. Перспективы применения аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 214-219.*
6. *Свешников В.К. Аддитивные технологии шагнули в гидравлику // Аддитивные технологии. 2017. N4. С.49-51.*

7. Серебреницкий П.П., Тетенькин А.С. Аддитивные технологии в ремонтном производстве // Аддитивные технологии. 2017. N4. С. 52-53.

8. Аддитивные технологии: шесть кейсов. //Атомный эксперт. 2015. N6. С. 10-19.

9. Максимов Н.М. Мировой рынок аддитивных технологий// Аддитивные технологии. 2017. N2. С. 16-22.

10. Антонов Ф. Composer: первый отечественный 3D-принтер для печати изделий из углепластика // Аддитивные технологии. 2018. N1. С. 13-15.

References

1. Kukushkin V.A. Additive technologies in mechanical engineering. Additive technologies. 2017. N1. 20-23.

2 Zlenko M.M., Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. Additive technologies in mechanical engineering: Manual for engineers. Moscow: SSC RF FSUE "NAMI". 2015. 220.

3. Fedorenko V.G., Golubev I.G. Prospects of application of additive technologies in production and technical service of agricultural machinery. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 140.

4. Golubev I.G., Golubev M.I., Bykov V.V. Prospects of application of additive technologies at restoration of details of transport and technological machines // In the collection "Ground transport and technological complexes and means". Tyumen: Tyumen industrial university. 2018. 87-91.

5. Golubev I.G., Spitsyn I.A., Bykov V.V., Golubev M.I. Prospects of application of additive technologies in the repair of agricultural machinery // Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. 214-219.

6. Sveshnikov V.K. Additive technologies stepped into hydraulics. Additive technologies. 2017. N4. 49-51.

7. Serebrenitsky P.P., Tetenkin A.S. Additive technologies in repair. Additive technologies. 2017. N4. 52-53.

8. Additive manufacturing: six cases. Nuclear expert. 2015. N6. 10-19.

9. Maksimov N.M. Global additive manufacturing market. Additive technologies. 2017. N2. 16-22.

10. Antonov F. Composer: the first domestic 3D printer for printing products from carbon fiber. Additive technologies. 2018. N1. 13-15.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

ВОССОЗДАНИЕ «САМОХОДА» Ф.А. БЛИНОВА

Владимир Васильевич Шаров[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: sharov_vv56@mail.ru;
Юлия Сергеевна Ценч[2], кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник
[1]Музей истории отечественного тракторостроения, МБУК «Созвездие», с. Новый Быт, Московская обл., Российская Федерация
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Сохранение технического наследия в виде натурных образцов, которые характеризуют передовые достижения любой страны, говорят о ее высоком интеллектуальном и техническом статусе. В истории отечественного тракторостроения эпохальным событием стала разработка и изготовление парового двухгусеничного трактора Ф.А. Блиновым, который демонстрировался в действии на всероссийской выставке в Нижнем Новгороде в 1896 году. За рубежом действующие двухгусеничные тракторы появились только в 1905 году. (Цель исследования) Доказать и утвердить в научно-техническом и информационном пространстве безусловный приоритет России в изобретении и реализации принципиально нового способа передвижения – «гусеничного хода» и создании первого в мире двухгусеничного трактора. (Материалы и методы) Провели исследование деятельности Ф.А. Блинова. Проанализировали и описали созданные им оригинальные конструкции самоходных машин. (Результаты и обсуждение) Предложили рассмотреть возможность повторного изготовления Самохода, чтобы досконально разобраться в его техническом устройстве, в принципах работы и эксплуатации, а также для подтверждения работоспособности первой тяговой машины России. Для решения поставленной задачи требуется заглянуть в ушедшую эпоху, и тщательно изучить существующие на тот момент промышленные предприятия Поволжья (место, где жил и работал Ф.А. Блинов), их продукцию и применяемые технологии. Ведущиеся исследования показывают, что имеющиеся научно-технические литературные источники и масштабная копия Самохода позволяют воссоздать машину близкую к оригиналу. (Выводы) Создание действующего образца Самохода будет олицетворять собой первую ступеньку отечественного тракторостроения.*

Ключевые слова: *паровая техника, Самоход, «бесконечный рельс», паровой двигатель, гусеничный трактор, керосиновый двигатель, двухгусеничная техника.*

Для цитирования: *Шаров В.В., Ценч Ю.С. Воссоздание «Самохода» Ф.А. Блинова // Технический сервис машин. 2019. N.1. С. 202-215*

RECREATING THE "CREEP" BLINOV, F.A.

Vladimir V. Sharov[1], Ph.D.(Eng.), leading researcher, sharov_vv56@mail.ru
Yulia S. Ttench[2], Ph.D.(Ped.), leading researcher, vimasp@mail.ru
[1] Museum of history of domestic tractor construction, MBUK "Constellation", page. New Life, Moscow Region, Russian Federation;
[2] Federal scientific agroengineering center WEAM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Preservation of the technical heritage in the form of full-scale models that characterize the advanced achievements of any country, talking about its high intellectual and technical status. In the history of the domestic tractor industry landmark event was the development and manufacture of steam two track tractor F. A. Blinov, which was shown in action at the all-Russian exhibition in Nizhny Novgorod in 1896. Abroad operating two-track tractors appeared only in 1905. (The purpose of the study) to Prove and approve in the scientific, technical and information space the unconditional priority of Russia in the invention and implementation of a fundamentally new method of movement-the "caterpillar track" and the creation of the world's first two – track tractor. (Materials and methods) conducted a study of The activities of F. A. Blinov. Analyzed and described the original designs of self-propelled machines created by him. (Results and discussion) Proposed to consider the possibility of re-manufacturing the self-propelled Vehicle to thoroughly understand its technical structure, the principles of operation and operation, as well as to confirm the performance of the first traction machine in Russia. To solve this problem you need to look into the past era, and carefully examine the existing at that time industrial enterprises of the Volga region (the place where He lived and worked FA Blinov), their products and technologies. Ongoing research shows that the available scientific and technical literature and a large-scale copy of the self-Propelled vehicle can recreate the machine close to the original. (Conclusions)the Creation of the current model of self-Propelled will represent the first step of the domestic tractor.*
Keywords: *steam engineering, self-propelled, "infinite rail", steam engine, crawler tractor, kerosene engine, two-track engineering.*

For citation: *Sharov V.V., Tsench Yu.S. Recreating the "Creep" Blinov, F.A. Technical service machines. 2019. N.1. 202-215(In Russian).*

Введение.Последняя четверть XIX века в России характеризовалась стремительным развитием сложной техники на базе паровых машин. Паровые двигатели находили применение на пароходах, паровозах, локомобилях, в лифтовом хозяйстве, подъемных кранах, всевозможных лебедках, в приводе станочного оборудования на заводах и фабриках и во многих других местах. Неудивительно, что известный механик-самоучка Ф.А. Блинов решил использовать паровую технику в конструкции новой тяговой машины для выполнения работ в сельском хозяйстве.

О Федоре Абрамовиче Блинове (1831-1902 гг.) написано много; более двухсот публикаций довольно подробно описывают его деятельность [1-3]. Он был сильной незаурядной личностью, постоянно пополнял свои знания, интересовался техническими новинками и обладал новаторскими способностями. В сочетании с природной предприимчивостью это давало ему возможность осуществлять задуманное.

Одно из первых его изобретений – вагон на бесконечных цепообразных рельсах (гусеницах), буксируемый двумя лошадьми (1887 г.), который предназначался для перевозки грузов по шоссейным и проселочным дорогам [4]. Затем он сконструировал оригинальную паровую тяговую машину или Самоход (так он значился в первых публикациях, изданных по воспоминаниям участников его сборки) [5]. В процессе работы над Самоходом, его конструкция несколько раз изменялась, а в 1896 г. один из вариантов демонстрировали на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде под названием «Паровоз с бесконечными рельсами для проселочных дорог» [6]. Это была паровая машина, состоящая из двух небольших двигателей и общего вертикального котла с необходимой арматурой. Каждый двигатель приводил в действие левый или правый оригинальный движитель, именуемый в то время «бесконечный рельс».

Движители состояли из шарнирно соединенных между собой плоских звеньев, представлявших собой бесконечную ленту, наподобие цепи в цепных передачах. Проектная документация, как и сам образец Самохода не сохранились до наших дней, они были утрачены в начале XX века, что, несомненно, является большой потерей для музееведения, а также с точки зрения сохранения выдающихся (пионерных) образцов тяговой техники в тракторостроении.

Цель исследования – доказать и утвердить в научно-техническом и информационном пространстве безусловный приоритет России в изобретении и реализации принципиально нового способа передвижения – «гусеничного хода» и создании первого в мире двухгусеничного трактора.

Материалы и методы. В середине XX века по инициативе Политехнического музея на основании изучения всей имеющейся информации и опираясь на воспоминания участников создания Самохода, была изготовлена его масштабная копия. Эта модель дает представление о внешнем виде и взаимном расположении основных деталей и агрегатов Самохода. Позднее изготовили еще две копии Самохода (на сегодняшний день известно о трех экземплярах). Две модели хранятся в Музее истории отечественного тракторостроения (с. Новый Быт), одна – на кафедре Тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева». Все они имеют некоторые отличия друг от друга, чем, возможно, характеризуют отдельные этапы работы Ф.А. Блинова над машиной. Так, один образец (Памятник науки и техники, сертификат № 137) отличается от остальных тем, что органы управления Самоходом находятся в задней части машины у места механика. Это характерно для Самохода 1888 года постройки. Два других образца имеют рычаги управления в передней части машины на месте «капитана». Подобное решение было реализовано на Самоходе 1896 года.

Анализ литературных источников, отражающих жизнь и творчество Ф.А. Блинова, позволяет сделать вывод о сложном и продолжительном пути создания Самохода. Отправной точкой в этом необходимо считать разработку (1877-1979 гг.), а затем и изготовление «Вагона конной тяги с бесконечными рельсами» (1880 г.), который был испытан в присутствии губернатора Саратовской губернии и местных инженеров в декабре 1880 года в г. Вольск [7]. Конструкция Вагона, судя по описанию, имеющемуся в привилегии [4], позволяла осуществлять небольшие повороты за счет придания гибкости бесконечным рельсам (гусеницам) в горизонтальной плоскости и возможности некоторого поворота направляющих и грузовых колес, закре-

пленных попарно на передней и задней поперечных рамах. Передние и задние рамы имели возможность вращения в горизонтальной плоскости и соединялись между собой крестообразными рычагами, т.е. при повороте передней рамы вправо на некоторый угол, задняя рама поворачивалась влево на такой же угол. Отметим, что в тексте описания нет информации о наличии тормозных башмаков на грузовых колесах, хотя на чертежах они имеются. Из чертежей также видно, что право- и левосторонние колеса вращаются независимо друг от друга (рис. 1). Это позволяет предположить, что для более крутого поворота Вагона могли использоваться башмаки для торможения бесконечных рельс с одной или с другой стороны при осуществлении поворота. Такая конструкция управления Вагоном во многом объясняет успешность проведения испытаний на улицах Вольска, когда необходимо было совершать крутые повороты.

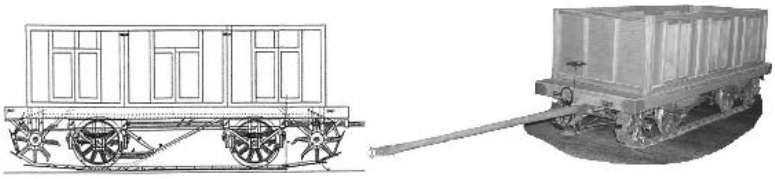


Рис. 1. Чертеж и общий вид модели Вагона с бесконечными рельсами (гусеницами) конструкции Ф.А. Блинова (1879-1880 гг.)

Уже на этапе создания Вагона с бесконечными рельсами Ф.А. Блинов прорабатывал возможность установки на него парового двигателя. Корреспондент, взявший у изобретателя интервью во время испытаний в г. Вольске, так передает свои впечатления от общения с ним: «Достойно внимания, что наш механик-самоучка не желает ограничиваться только этими опытами, он хочет применить свое изобретение к целому ряду вагонов, двигаемых паровозом в каком угодно месте без особого полотна железной дороги» [8]. Впервые данное обстоятельство отметил в своих работах А.А. Деревянченко, дополнительно нашедший еще одно косвенное свидетельство того, что изобретатель работал над Самоходом начиная с 1879-80 гг. [2].

В качестве подтверждения этому он приводит слова Ф.А. Блинова из интервью корреспонденту газеты «Каспий», освещавшего выставку в Нижнем Новгороде в 1896 году: «…целых 16 лет (т.е. в 1880 г.) как придуман им этот двигатель…» [9]. Исследователи творческого наследия Ф.А. Блинова приводили описание, в том числе графическое, первого варианта Самохода. Так, профессор В.В. Костровский из Саратова, заинтересовавшись деятельностью своего земляка, провел опрос очевидцев и участников создания Самохода и опубликовал в 1935 г. свое представление о его конструкции (рис. 2) [5]. Такое же понимание конструкции представлено руководителем отдела автопромышленности Политехнического музея А.С. Исаевым в обстоятельной статье, посвященной Ф.А. Блинову [10].

Их видение, основанное на общении с земляками изобретателя и с оценкой его возможностей по сборке, показывает нам машину, в некоторой степени унаследовавшую признаки Вагона: деревянная несущая рама, четыре правых и четыре левых колеса, каждую группу которых охватывает соответствующая бесконечная рельса. Крайние колеса выполняют роль соответственно путеукладчика или собирателя шпал.

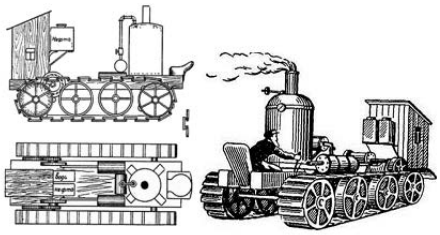


Рис. 2. Схема и рисунок первого образца Самохода с передним приводом (1878-1888 гг.) по представлению профессора В.В. Костровского

Все грузовые колеса были одинакового размера и служили одновременно как опорными, так и поддерживающими бесконечные рельсы катками. Конструкция Самохода отличалась от конструкции Вагона наличием двигателя, шестеренчатой трансмиссии, системы питания и системы управления машиной, в том числе поворотом. В задней части рамы Самохода мы видим вертикальный паровой котел, а за ним – место для механика, который по команде «капитана» управлял Самоходом. Будка капитана располагалась в передней части рамы, из нее производились команды (такой принцип управления машиной Ф.А. Блинов унаследовал из опыта плавания на речном буксире). На задней стенке будки, в верхней ее части располагались емкости для нефти (подавалась в форсунку для сжигания) и для воды, которая пополняла котел в процессе работы паровой машины.

Два паровых двигателя установлены с правой и левой стороны рамы, и каждый из них через систему шестерен приводил в действие соответствующую бесконечную рельсу. Приводные шестерни располагались в передней части рамы и приводили в действие передние колеса. Бесконечные рельсы состояли из шарнирно сочлененных нижних и верхних звеньев; нижние звенья опирались на грунт и служили шпалами, а по верхним катились колеса и служили рельсами.

В отличии от Вагона на Самоходе совсем иначе решен вопрос управления поворотом. Здесь уже нет поворачивающихся направляющих колес, поворот осуществлялся с помощью возможности сообщения разной скорости вращения левой и правой бесконечным рельсам. Эта блестящая идея является отличительной особенностью машины. Для ее реализации левая и правая бесконечные рельсы получали вращение каждая от своего двигателя, поступление пара в который регулировалось специальным краном.

По нашему мнению, для более эффективного управления поворотом, Ф.А. Блинов в конструкции Самохода (по аналогии с Вагоном) сохранил тормозные башмаки на ведущих колесах. Это обстоятельство подробно не отражено в литературе, есть только упоминания вскользь исследователей наследия Ф.А. Блинова [11]. Но оно вытекает из анализа конструкции Вагона и оценки управляемости Самохода, если использовать только дозировку поступления пара.

Первый образец машины выявил слабые элементы конструкции. Возможно, она оказалась ненадежной или вообще неработоспособной.

Ф.А. Блинов вполне мог имеющийся Вагон, где двигателем были лошади, приводившие его в действие с помощью «топчака» (приспособления, преобразующего лошадиный ход во вращательное движение вала) переделать в 1881 г. в Самоход. Такая информация содержится в воспоминаниях Я.В. Мамина, который, будучи в обучении в мастерских Ф.А. Блинова, слы-

шал про это от него самого [5]. Следующим вариантом Самохода стала конструкция, описанная Я.В. Маминым, который являлся участником его создания в 1888 г., когда четырнадцатилетним подростком поступил в обучение в мастерскую Ф.А. Блинова. Эта конструкция во многом отличалась от первоначального варианта (рис. 3).

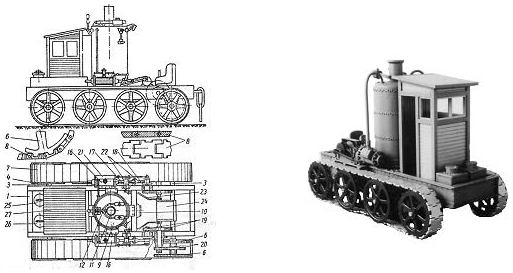


Рис. 3. Схема и фото модели Самохода Ф.А. Блинова, выполненных по воспоминаниям Я.В. Мамина

В этом варианте раму Самохода выполнили из металлических балок. Вертикальный паровой котел находился посередине рамы, баки для нефти и воды располагались в передней части между балками, а над ними устанавливалась будка для капитана. В задней части рамы находилось место машиниста. Там же был шестеренчатый привод на задние ведущие колеса бесконечных рельс.

Двигатели паровой машины располагались по бокам рамы и каждый предназначался для сообщения движения своему бесконечному рельсу. Управление двигателями, изменение частоты и направления вращения коленчатого вала осуществлялось механиком по команде капитана. Бесконечные рельсы выполнили в виде шарнирно соединенных металлических звеньев. Пробные испытания Самохода показали его работоспособность, но отмечалась недостаточная управляемость, низкая надежность бесконечных рельс и чугунных шестерен. Неоднократное попадание камней в зацепление, выводило трансмиссию из строя. Все это привело к поломке Самохода, что, явилось причиной его отсутствия на Саратовской сельскохозяйственной выставке 1889 г.

Трудности по основной деятельности предприятия Ф.А. Блинова вынудили его приостановить на некоторое время работы по усовершенствованию конструкции Самохода. В 1893 году ему удалось вновь запустить свое предприятие, а машину модернизировать. Система управления Самоходом была перенесена с места механика в будку капитана, что, несомненно, повлияло на своевременность реагирования на дорожную обстановку и облегчило труд механика, который теперь следил только за состоянием пара и обеспечивал пуск и остановку машины. Для увеличения надежности бесконечных рельсов их стали собирать из чугунных литых звеньев с грунтозацепами. Введя еще несколько технических улучшений в конструкцию, Ф.А. Блинов возобновил испытания Самохода [12]. Улучшенную конструкцию Самохода автор представил на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде в 1896 г. (рис. 4) [6]. Желая показать достоинства своей машины, Ф.А. Блинов добивается у руководства выставки разрешения на демонстрацию Самохода в действии [13]. Результатом представления Самохода на выстав-

ке стало награждение Ф.А. Блинова за трудолюбие по изготовлению машины похвальным отзывом устроителей выставки. Изобретатель ожидал большего, однако отсутствие широкого признания его деятельности не отбило у него охоту совершенствовать свою машину [9].

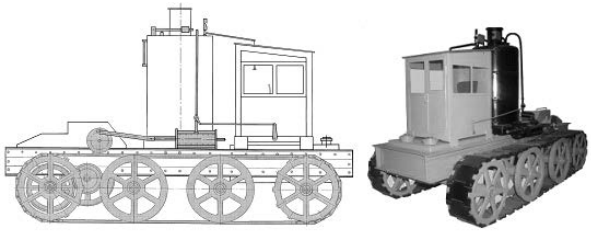


Рис. 4. Схема и фото модели усовершенствованного Самохода Ф.А. Блинова, представленной на выставке 1896 г. в Нижнем Новгороде

После возвращения с выставки Ф.А. Блинов коренным образом перерабатывает конструкцию ходовой системы Самохода и приспосабливает ее к установке двигателя внутреннего сгорания. Он планирует установить одноцилиндровый нефтяной двигатель, который совместно с сыном Порфирием подготавливал к производству. Из частично сохранившейся в семье внучки Ф.А. Блинова документации можно увидеть изменения, введенные изобретателем в конструкцию машины (рис. 5).

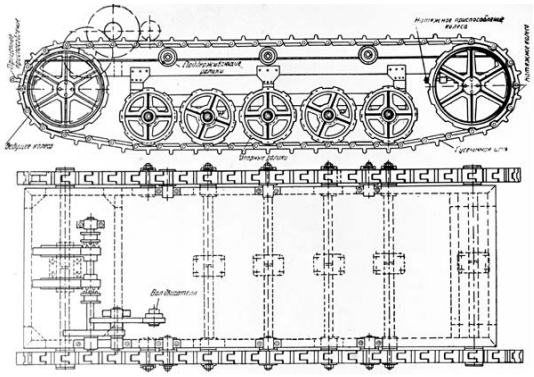


Рис. 5. Проект ходовой части и трансмиссии Самохода, выполненный Ф.А. Блиновым в 1897-1900 гг.

Двигатель внутреннего сгорания предполагалось разместить в задней части рамы и через две пары зубчатых шестерен приводить в действие задние колеса бесконечных рельс. Ведущие задние и направляющие передние колеса были приподняты над землей, имели одинаковый диаметр и выполнялись одинарными с поперечными выемками на ободе для зацепления с бесконечным рельсом. Опорными колесами служили пять пар катков, закрепленных на дополнительной нижней раме. По сравнению с ведущими они были значительно меньше в диаметре. Поддерживающими колесами стали шесть верхних роликов (по три с каждой стороны), которые крепились на верхней основной раме. Переднее направляющее колесо с помощью натяжного механизма перемещалось в продольно-вертикальной плоскости. Левые и правые колеса могли вращаться с различными угловыми скоростями независимо друг от друга, их оси соединялись в средней части специаль-

ными втулками. Звено рельсы было литым с грунтозацепом и соединялось с другим звеном с помощью стального пальца. Место соединения с пальцем имело прилив (выступ), который упрочнял соединение и служил зацепом для ведущего колеса. Для устранения сползания бесконечного рельса с колес на внутренней стороне его звена в средней части имелись продольные выступы, которые в процессе вращения входили в прорези ведущего и направляющего колес. Принцип управления поворотом был сохранен (сообщение различных скоростей бесконечным рельсам) и осуществлялся за счет отключения того или иного ведущего колеса посредством зубчатых муфт на полуоси привода.

Сборка этого трактора не состоялась в связи со смертью Ф.А. Блинова в середине 1902 г. Все наработки изобретателя впоследствии использовал в своей работе инженер А.А. Бейхерт (супруг внучки Ф.А. Блинова), который в 1910 г. представил проект гусеничного трактора для балаковского машиностроительного завода «Товарищество Лобанов и Задков», финансировавшего разработку (рис. 6) [14].

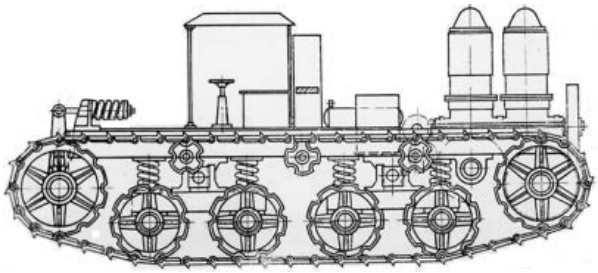


Рис. 6. Схема гусеничного трактора, представленная А.А. Байхертом в 1910 г.

Последователь Блинова использовал двухцилиндровый керосиновый двигатель, установив его в задней части рамы; от двигателя через шестеренчатую трансмиссию передавалось вращение на задние ведущие колеса. А.А. Байхерт сократил число опорных колес до четырех с каждой стороны и разместил их попарно на качающихся коромыслах. Каждый каток был подпружинен, тем самым при движении достигался эффект копирования рельефа дороги. Переднее направляющее колесо содержало натяжное устройство пружинного типа. Пост управления трактором располагался в передней части рамы, ближе к центру. Над местом размещения водителя находился навес, управление гусеницами осуществлялось с помощью рулевого привода.

В последний момент заказчик проекта отказался от производства трактора. Потребность в данной разработке возникла в послереволюционные годы при советской власти. Чертежи на национализированном предприятии пересматривались, некоторые перерабатывались под новые условия, но дальше этого дело не пошло, завод был загружен другими заказами, проект гусеничного трактора в России остался нереализованным.

Мы проследили более чем 30-летнюю эволюцию развития конструкции Самохода – от Вагона с бесконечными рельсами, созданного Ф.А. Блиновым, до проекта гусеничного трактора, разработанного А.А. Байхертом в 1910 г. Талант и упорство в достижении поставленной цели позволили Ф.А. Блинову создать действующий образец техники пионерного уровня и продемонстрировать его общественности на Всероссийской выставке.

Изучение технического наследия Ф.А. Блинова показывает, что система

управления поворотом (подворотом) Самохода, посредством сообщения той или иной скорости левой или правой бесконечным рельсам (гусеницам) является оригинальной, несет в себе новаторское решение мирового уровня. Оно в значительной степени упрощает конструкцию тяговой машины ввиду отсутствия необходимости установки дополнительных управляющих механизмов и систем. Этот принцип, открытый и реализованный в действующей конструкции Ф.А. Блинова, используется до сих пор во всей двухгусеничной технике. Известные зарубежные машины того времени (реализованные в металле), использующие в качестве ведущих движителей бесконечные рельсы (гусеницы), как правило имели дополнительные направляющие колесные либо гусеничный движители для осуществления поворота [15, 16] (рис. 7).

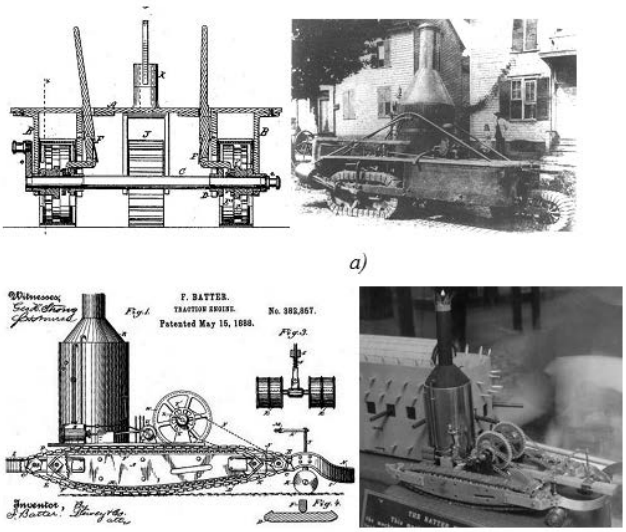


Рис. 7. a) рисунок из патента США № 135,240 от 28.01.1873 г. и фотография 1869 года трехгусеничного тягового локомотива Томаса Минниса (Tomas S. Minniss); b) рисунок из патента США № 382,857 от 15.05.1888 г. и фото модел, тянущего двигателя (Tractionengine) Франка Баттера (FrankBatter); данных об изготовлении полномасштабной машины не найдено

Иногда конструкции тяговых машин [17-19] предусматривали возможность небольшого поворота передних колес за счет некоторого изгиба бесконечных рельс в горизонтальной плоскости (как в конструкции Вагона Ф.А. Блинова) (рис. 8).

Еще одна машина, использующая гусеничные движители, построена и опробована в работе в 1837 г. гениальным английским изобретателем Джоном Хиткотом (John Heathcoate) и инженером Джоси Паркесом (Josiah Parkes) [20]. Машина предназначалась для осуществления так называемой системы паровой вспашки. Система паровой тяги для осушения болот была разработана и запатентована Хиткотом еще в 1832 г. (патент Великобритании № 62678). Она предусматривала использование паровой машины, передвигающейся по специально подготовленной дороге в середине осушаемого участка, на краях участка (слева и справа) располагались якоря с барабанами для металлических цепей, которые тянули специальные плуги.

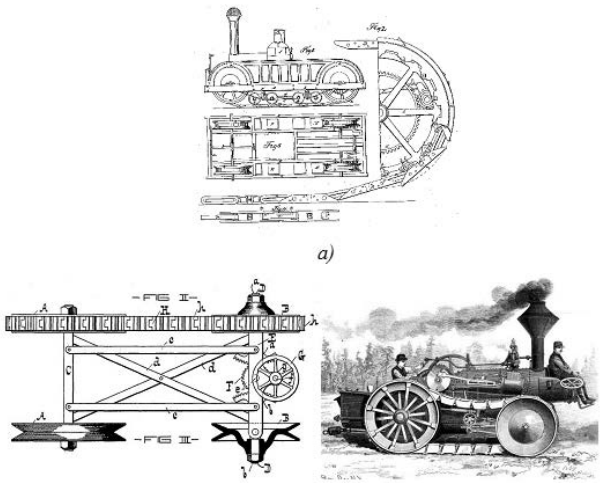


Рис. 8. а) рисунок из патента США № 23,853 от 03.05.1859 г. на тянущую машину для привода плугов и других машин (Locomotive-machineforpropellingplows,&c) Варена Миллера (Warren P. Miller), данных об изготовлении полномасштабной модели не найдено; b) рисунок из патента США № 296,998 от 15.04.1884 г. на дорожный двигатель (Road-engine) и иллюстрация из журнала за 1885 г., где есть упоминание о действующей машине Джорджа Пейджа (George F. Page)

Паровая машина вращала барабаные вороты (с левой и правой стороны машины), которые наматывали цепи и тянули плуг в нужном направлении. Когда плуг завершал обработку участка поля, якоря на концах поля и сама паровая машина перемещались на рабочую ширину захвата плуга в сторону необработанного поля и операция повторялась. Так как осушаемое болото обладало низкой несущей способностью, то Хиткот предложил оригинальную идею – разместить тяжелую 30-тонную паровую машину на двух прочных полотнах (каждое шириной 2,86 м), тем самым обеспечив необходимое удельное давление. Для постоянного перемещения по полотну, оно было выполнено замкнутым по типу бесконечной ленты, ее перематывание обеспечивали большие колеса диаметром 2,44 м, которые устанавливались спереди и сзади машины. Прочность полотну придавали прикрепленные к нему поперечные деревянные планки размером 2860 х 101,7 х 50,8 мм. Между колесами размещалась паровая машина с барабанами для наматывания и сматывания металлических цепей (рис. 9).

Некоторые авторы, изучающие историю развития техники, представляют изобретение Хиткока как конструкцию первого в мире гусеничного трактора. С этим нельзя согласится, так как у данной паровой машины отсутствует тяговый принцип трактора, то есть он не может агрегатироваться с машинами, требующими тяговую мощность, которая реализуется через движители. В описаниях и чертежах нет данных, что указанная паровая машина может осуществлять управляемые повороты; напротив, содержатся сведения, что для нее прокладывали специальный путь по прямой линии. Скорее всего эту машину необходимо классифицировать как самопередвигающийся локомобиль.

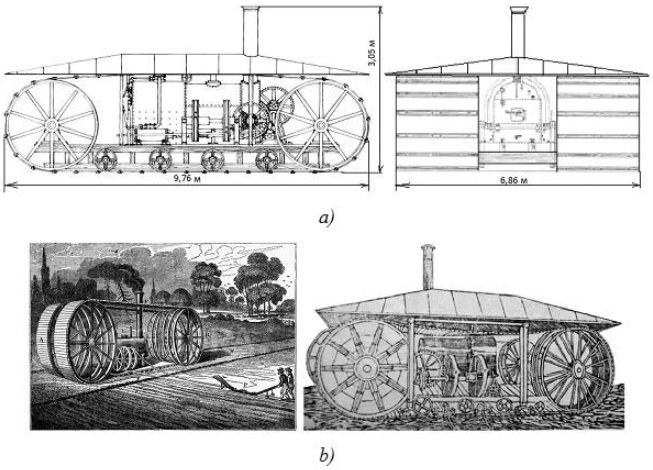


Рис. 9. a) Чертежи паровой машины Хиткока (Heathcoate), изготовленные на основе описания к изобретению и информации в публикациях XIX века; b) рисунки из публикаций XIX века

Действующий образец трактора, у которого управление поворотом осуществлялось по принципу Самохода Ф.А. Блинова, появился только в 1905 г. в Англии. Был он изготовлен фирмой «Ричард Хорнсби и сыновья» (Richard Hornsby and Sons) [21].

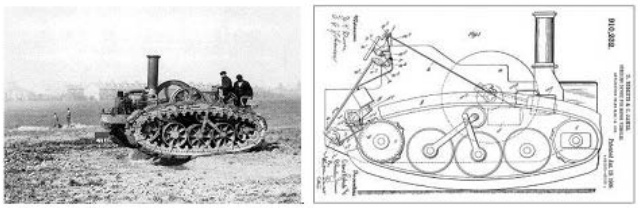


Рис. 10. Фотография гусеничного трактора английской фирмы «Richard Hornsby and Sons», 1905 г. и рисунок из патента США № 910233, выданного в 1909 г. британским конструкторам фирмы «Richard Hornsb yand Sons» на гусеничный паровой трактор

Английские инженеры отказались от дополнительных передних колес для управления поворотом трактора, а установили фрикционные муфты для каждой стороны гусеничных движителей. Этим они обеспечивали возможность сообщения гусеницам той или иной скорости движения в зависимости от степени осуществления поворота, также как в 1880 г. предложил, а в 1888 г. реализовал русский изобретатель Ф.А. Блинов. Курсовое управление двухгусеничной тяговой машиной без использования дополнительных управляемых колес впервые было апробировано на действующем образце в России. В связи с этим становится очевидной необходимость популяризации в научно-техническом и информационном пространстве технического решения Ф.А. Блинова, реализованного им в Самоходе.

Результаты и обсуждение. Масштабная модель Самохода, демонстрирующаяся в Музее истории отечественного тракторостроения, не несет в себе

информации о взаимодействии механизмов его конструкции, о его работе и управляемости; отсутствуют характерные признаки уровня развития машиностроительных технологий в России последней четверти XIX века.

Предлагаем выполнить повторную сборку Самохода, чтобы досконально разобраться в техническом устройстве, в принципах его работы и эксплуатации, а также подтвердить информацию о работоспособности первой тяговой машины России. С точки зрения музееведения и науки, изучающей историю развития конструкции трактора, такой музейный экспонат крайне необходим; он нужен также для демонстрации и пропаганды приоритетных технических достижений России.

Необходимо провести работу по изготовлению действующей копии Самохода по технологиям, применявшимся в России конца XIX века. Предлагается изготовить вариант Самохода, который представлялся на выставке в Нижнем Новгороде в 1896 году, так как этот экспонат был зарегистрирован официально, а его демонстрация подтверждена несколькими публикациями того времени, что исключает возможные сомнения в его существовании [6, 9, 13].

Для решения подобной задачи требуется тщательно изучить существующие на тот момент промышленные предприятия Поволжья (место, где жил и работал Ф.А. Блинов), их продукцию и применяемые технологии. Особое внимание необходимо уделить следующим вопросам:

- уровень знаний по паровым машинам (расчет, проектирование) и их применение на речных судах;
- технология литья чугуна и способы получения стали;
- виды и способы металлообработки;
- применяемые сортаменты железа, метизы, заклепки, гвоздей;
-конструкцию маломощных паровых двигателей для вспомогательных механизмов речных судов;
-устройство паровых котлов и арматуры к ним (трубы, вентили, клапаны и т.п.) применяемых на речных судах;
- деревообработка применительно к простым конструкциям;
- виды и применение лакокрасочных покрытий.

Полученную информацию необходимо соотнести с возможностями механической мастерской Ф.А. Блинова, где осуществлялась сборка машины. Ориентируясь на масштабную модель, изготовленную в 1950 г. Политехническим музеем, осуществить повторное изготовление действующего образца Самохода. В настоящее время эту работу ведет Музей истории отечественного тракторостроения, работники которого заинтересованы в обсуждении со специалистами по реставрации и музееведами всех вопросов, связанных с изготовлением действующего экспоната.

На сегодняшний день удалось обосновать основные параметры Самохода и на этой основе выполнить эскизный проект машины (рис. 11). Сейчас ведется активная работа по уточнению технологии изготовления деталей и узлов Самохода. В этом нам активно помогают Музей истории г. Балаково (материал по оснащению мастерской Ф.А. Блинова) и Музей техники в Нижнем Новгороде (материал по станочному оборудованию, применяемым технологиям конца XIX в. в Поволжье). Надеемся, что подготовительные работы по воссозданию Самохода и его изготовление произойдут в 2019 г.

Выводы. Воссоздание Самохода Ф.А. Блинова – это обретение музейного экспоната с информационно емким представлением об уровне развития

техники конца XIX в. в России. Он будет олицетворять собой первую ступеньку в истории развития тракторной техники в нашей стране.

Библиографический список

1. Деревянченко А.А. Изобретатель гусеничного трактора Федор Абрамович Блинов (1831-1902 гг.). Библиографический указатель. Саратов: Приволжское книжное издательство. 1989. 24 с.

2. Деревянченко А.А. Новые сведения о жизни и творчестве русского механика Ф.А. Блинова (1831-1902) // Вопросы истории естествознания и техники. 1991. N3. С. 65-71.

3. Сельскохозяйственная энциклопедия. 4-е изд., перераб. и доп. Т. 6. М.: Советская энциклопедия. 1975. 1232 с.

4.П ривилегия № 2245 от 15.03.1878 г., выданная Департаментом Торговли и Мануфактур России 20.09.1879 года, Федору Блинову на «Особого устройства вагон с бесконечными рельсами для перевозки грузов по шоссейным и проселочным дорогам» // Свод привилегий, выданных по Департаменту Торговли и Мануфактур. Т. III, IV. Вып. 4. СПб. 1880.

5. Костровский В. Первый в мире гусеничный трактор // Социалистическое зерновое хозяйство. 1935. N2.

6. Блинов Ф.А. Самарская губ. Паровоз с бесконечными рельсами для проселочных дорог. Общий указатель Всероссийской промышленной и художественной выставки 1896 года в Нижнем Новгороде. М.: Рус. т-во печати и издат. дела». 1886. 23 с.

7. Заметка о результатах испытаний машины для перевозки тяжестей крестьянина Блинова. Газета «Саратовский листок». 1881. N8 от 14 января.

8. Балабанов И.П. Что принес нам 1880 год. Саратов. 1882. С. 78-79.

9. Заметка о выставке, в т.ч. о Блинове Ф.А. Газета «Каспий». 1896. N187.

10. Исаев А.С. Федор Абрамович Блинов (1832-1902). Сборник: Люди русской науки. Под редакцией И.В. Кузнецова. М.: Наука. 1965. 777 с.

11. Шепелев А.Н., Деревянченко А.А. Яков Мамин. Очерк о жизни и творчестве изобретателя Я.В. Мамина. Челябинск.: Южно-Уральское книжное издательство. 1988. С. 13.

12. Деревянченко А.А. Сто лет со временем в ладу (О 100-летнем юбилее жительницы г. Балаково А.Н. Кондратьевой, свидетельнице испытаний трактора Блинова) // Огни коммунизма (г. Балаково). 1986. 7 октября.

13. Ходатайство Ф.А. Блинова о демонстрации своего изобретения в действии перед публикой. Журнал «Саратовская земская неделя». 1886. N32. С. 421.

14. Давыдов Л. Родина трактора. М.: Профиздат. 1950. 372 с.

15. Patent USA 135,240. Thomas S.M. Improvementin Traction-Locomotives. 1873. January 28.

16. Patent USA 382,857. Frank Batter. Traction-engine. 1888. May 15.

17. Patent USA 23,853. Waren P.M. Locomotive-machine for propelling plows, &C. 1859. May 3.

18. Patent USA 296,998. Georg F. Page. Road-engine. 1884. April 15.

19. Blacklock A. Description of Heathcoat's steam plough, with illustrative drawings. Dumfries. 1837.

20. Федосеев С.Л. Все танки Первой Мировой. Самая полная энциклопедия. М.: Эксмо. 2013. 402 с.

References

1. Derevyanchenko A.A. is an inventor of the catarpillar Fedor Abramovich Blinov

(1831-1902). Bibliographic index. Saratov: Volga book publishing house. 1989. 24.

2. Derevyanchenko A.A. New data on life and works of the Russian mechanic F.A. Blinov (1831-1902). Questions of history of natural sciences and equipment. 1991. N3. 65-71.

3. Agricultural encyclopedia. 4 prod., reslave. and additional. Vol. 6. Moscow: Soviet encyclopedia. 1975. 1232.

4. The privilege No. 2245 of 15.03.1878 given by Department of Trade and Manufactories of Russia of 20.09.1879, to Fedor Blinov on "The special device the car with infinite rails for transportation of goods on highway and country roads". The Set of the privileges given on Department of Trade and Manufactories. Vol. III, IV. Iss. 4. St. Petersburg. 1880.

5. Kostrovsky V. First-ever caterpillar. Socialist grain farm. 1935. N2.

6. Blinov F.A. Samarskaya of lips. The engine with infinite rails for country roads. The general index of the All-Russian industrial and art exhibition of 1896 in Nizhny Novgorod. Moscow: Russian association of the press and publishing. 1886. 23.

7. A note about results of tests of the vehicle for transportation of weights of the peasant Blinov. Saratovsky Listok newspaper. 1881. N8 of January 14.

8. Balabanov I. P. That brought to us 1880. Saratov. 1882. 78-79.

9. A note about an exhibition, including about Blinov F.A. Caspian Sea newspaper. 1896. N187.

10. Isaev A. S. Fedor Abramovich of Pancakes (1832-1902). Collection: People of the Russian science. Under I.V. Kuznetsov's edition. Moscow: Science. 1965. 777.

11. Shepelev A.N., Derevyanchenko A.A. Yakov Mamin. A sketch about life and works of the inventor Ya.V. Mamin. Chelyabinsk.: Southern Ural book publishing house. 1988. 13.

12. Derevyanchenko A.A. Hundred years over time in a harmony (About 100-year anniversary of the female resident of Balakovo A.N. Kondratyeva, the witness to tests of the tractor of Blinov). Fires of communism (Balakovo). 1986. October 7.

13. Blinov's F.A. petition for demonstration of the invention in operation before public. Saratovskaya Zemskaya Nedelya magazine. 1886. N32. 421.

14. Davydov L. homeland of the tractor. Moscow: Profizdat. 1950. 372.

15. Patent USA 135,240. Thomas S.M. Improvementin Traction-Locomotives. 1873. January 28.

16. Patent USA 382,857. Frank Batter. Traction-engine. 1888. May 15.

17. Patent USA 23,853. Waren P.M. Locomotive-machine for propelling plows, &C. 1859. May 3.

18. Patent USA 296,998. Georg F. Page. Road-engine. 1884. April 15.

19. Blacklock A. Description of Heathcoat's steam plough, with illustrative drawings. Dumfries. 1837.

20. Fedoseyev S.L. All tanks of World War I. The fullest encyclopedia. Moscow: Eksmo. 2013. 402.

УДК 629.3014.2

ТРАКТОР ДТ-75. ЗНАМЕНИТЫЙ ДОЛГОЖИТЕЛЬ

Вячеслав Викторович Косенко[1], кандидат технических наук;
Владимир Васильевич Шаров[2], методист Музея истории отечественного тракторостроения, МБУК «Созвездие», кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: sharov_vv56@mail.ru;
Юлия Сергеевна Ценч[3], кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник
[1]Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация;
[2]Музей отечественного тракторостроения, с. Новый Быт, Московская область, Российская Федерация;
[3]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Выпуск на Волгоградском тракторном заводе известного гусеничного трактора ДТ-75, который начался в 1963 г. и продолжался вплоть до 2009 г. – это одна из ярких страниц отечественного тракторостроения. (Цель исследования) Провести анализ этапов серийного производства трактора ДТ-75 и его модификаций с рассмотрением совершенствования его конструкции и эффективности применения. (Материалы и методы) Описаны основные этапы создания трактора ДТ-75, его совершенствования и модернизации. (Результаты и обсуждения) Определили, что тракторы семейства ДТ-75 выполняли не только работы общего назначения, но и использовались на междурядной обработке пропашных культур, уборке урожая, поливе, внесении удобрений, на транспорте. Их применяли и в промышленности, строительстве, мелиорации, на торфодобыче, в других отраслях. За 46 лет производства этой машины от ДТ-75 до ДТ-75Д мощность ее возросла на 47 процентов, эксплуатационная масса увеличилась на 12-18 процентов, номинальное тяговое усилие поднялось на 15 процентов (с 31,4 до 36 килоньютонов), максимальное – на 23 процента (с 37 до 45,7 килоньютонов), скорость при тяговом усилии 27,5-28 кН возросла на 28 процентов (с 5,41 до 6,9 километров в час), срок службы до первого капитального ремонта увеличился вдвое: с 4 до 8 тысяч моточасов. (Выводы) За счет удачной конструкции и постоянного совершенствования трактор типа ДТ-75 стал самым распространенным гусеничным трактором в нашей стране. Всего Волгоградский и Павлодарский тракторные заводы выпустили более 2,7 млн таких машин.*

Ключевые слова: *гусеничный сельскохозяйственный трактор, тракторный завод, производство, развитие, совершенствование, модернизация, модификации, показатели.*

Для цитирования: *Косенко В.В., Шаров В.В., Ценч Ю.С. Трактор ДТ-75. Знаменитый долгожитель // Технический сервис машин. 2019. N1. С.231-241.*

TRACTOR DT-75. FAMOUS PENDANT

Vyacheslav V. Kosenko[1], Ph.D.(Eng.);
Vladimir V. Sharov[2], methodist, Museum of the History of Domestic Tractor Building, MBUK Sozvezdie, Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: sharov_vv56@mail.ru;
Yulia S. Tsench[3], Ph.D.(Ped.), leading researcher
[1]Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation;
[2]Museum of domestic tractor construction, p. New Life, Moscow Region, Russian Federation;
[3]VIM Federal Research Agroengineering Center, Moscow, Russian Federation
Key words: tracked agricultural tractor, tractor plant, production, development, improvement, modernization, modifications, indicators.

Abstract. *Release at the Volgograd tractor plant of the known caterpillar dt-75 tractor which began in 1963 and proceeded up to 2009 is one of bright pages of domestic tractor construction. (The purpose of the study) to analyze the stages of serial production of the tractor DT-75 and its modifications with the consideration of improving its design and efficiency. (Materials and methods) Describes the main stages of the creation of the tractor DT-75, its improvement and modernization. (Results and discussions) Determined that the tractors of the DT-75 family performed not only General-purpose work, but also used for inter-row processing of row crops, harvesting, irrigation, fertilization, transport. They were used in industry, construction, land reclamation, peat extraction, and other industries. For 46 years of production of this machine from DT-75 to DT-75D, its capacity increased by 47 percent, the operating weight increased by 12-18 percent, the nominal traction increased by 15 percent (from 31.4 to 36 kilonewtons), the maximum-by 23 percent (from 37 to 45.7 kilonewtons), the speed with traction 27.5-28 kN increased by 28 percent (from 5.41 to 6.9 kilometers per hour), the service life before the first overhaul doubled: from 4 to 8 thousand (Conclusions) due to the successful design and continuous improvement of the tractor type DT-75 became the most common crawler tractor in our country. In total, Volgograd and Pavlodar tractor plants produced more than 2.7 million such machines.*
Keywords: *crawler agricultural tractor, tractor plant, production, development, improvement, modernization, modification, performance.*

For citation: *Kosenko V.V., Sharov V.V., Tsench Yu.S. DT-75 tractor. Famous pendant. Technical service of machines. 2019. N1. 231-241.*

Введение. Динамичное развитие современного общества невозможно без высокоразвитой энергетической базы сельскохозяйственного производства, одну из основ которой составляет мобильная тракторная техника. История развития и производства тракторов в нашей стране имеет богатое прошлое. Одним из ярких событий в этой истории стало производство на Волгоградском тракторном заводе (ВгТЗ) дизельного гусеничного трактора ДТ-75.

Цель исследования – провести анализ этапов серийного производства трактора ДТ-75 и его модификаций с рассмотрением совершенствования его конструкции и эффективности применения.

Материалы и методы. 30 декабря 1963 г. на Волгоградском тракторном заводе началось массовое производство знаменитого трактора-долгожителя ДТ-75 (рис. 1).

Рис. 1. Торжественная встреча сошедшего со сборочного конвейера первого трактора марки ДТ-75

Гусеничный сельскохозяйственный трактор общего назначения ДТ-75 тягового класса 3 (рис. 2) пришел на смену не менее знаменитому ДТ-54 (ДТ-54А) в результате реализации выполненных к тому времени исследований по повышению рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов с 3-5 до 5-7 км/ч.

Рис. 2. Трактор ДТ-75 первых лет выпуска на пахоте

В конструкцию ДТ-75 по сравнению с предшественником внесли много новых технических решений, направленных на повышение производительности, надежности, экономичности, улучшение условий труда тракториста и других. Основные из них [1]:

- более мощный, экономичный и меньшей массы дизель СМД-14 Харьковского завода «Серп и Молот»;
- более совершенная трансмиссия с 2-дисковым главным сцеплением, расширенным диапазоном скоростей движения и большим числом передач; с расположенными в едином жестком корпусе коробкой передач, главной передачей и планетарным механизмом поворота (ПМП), с включаемым на ходу, без разрыва потока мощности; увеличителем крутящего момента (УКМ) и независимым валом отбора мощности (ВОМ);
- прочная и долговечная сварная рама;
- уменьшенная колея, позволяющая лучше агрегатироваться с энергоемкими орудиями малого захвата и вписывающаяся в основные используемые

в СССР междурядья пропашных культур (шириной 45, 60, 70 и 90 см);

- усовершенствованная ходовая система со стальными балансирами и смазываемыми цапфами кареток подвески, однооободными направляющими колесами и усиленными амортизационно-натяжными устройствами;

- более комфортабельная кабина автомобильного типа, оборудованная вентилятором, отопителем (теплым воздухом от радиатора) и стеклоочистителем. Благодаря внесенным усовершенствованиям, эксплуатационные показатели трактора ДТ-75 по сравнению с ДТ-54А возросли (табл. 1, 2) [2]. По данным Северо-Кавказской МИС, например, на пахоте на глубину 25-27 см его производительность возросла на 28-44% при меньшем на 2-14% погектарном расходе топлива.

Таблица 1

Технические характеристики некоторых тракторов семейства ДТ-75 разных лет выпуска и предшественника - ДТ-54А

Показатель	ДТ-54А	ДТ-75	ДТ-75М	ДТ-75Д	Агромаш-90ТГА
Год выпуска	1961	1963	1975	2005	2009
Масса,кг:					
- конструкционная	5490	5900	6110	6630	6750
- эксплуатационная	5830	6320	6420	6950	7100
Габаритные размеры, мм:					
- длина[1]	4190	4372	4372	4790	4800
- ширина	1865	1740	1740	1850	1850
- высота (по кабине)	2300	2304	2333	2710	2990[2]
Продольная база, мм	1622	1612	1612	1612	1612
Колея, мм	1435	1330	1330	1330	1330
Дорожный просвет, мм	260	326	326	380	370
Ширина гусениц, мм	390	390	390	390 (470)	390
Средние условные давления на почву, кПа	40,9	44,6	45,3	49,1(40,7)	50,1
Дизель:					
- марка	Д-54А	СМД-14	А-41	Д-440-22[3]	А-41ВСИ
- рабочий объем, л	7,46	6,33	7,43	7,43	7,43
- мощность, л.с.	54	75	90	110	90
- номинальная частота вращения к/вала, мин$^{-1}$	1300	1700	1750	1800	1750
- удельный расход топлива, г/л.с.ч	205-225	195-200	185	175	180
- литровая мощность, л.с./л	7,24	11,85	12,11	14,80	12,11
Число передач вперед/назад	5/1	9/1	9/1	7/1	7/1
Диапазон скоростей переднего хода, км/ч	3,59-7,92	4,12-10,85	4,24-11,18	5,45-11,50	5,30-11,18
Диапазон тяговых усилий, кгс[4]	1000-2800	1080-3000 (3680)	1376-3540 (4430)	1490-3830	1520-3915
Емкость топливного бака, л	185	245	245	255	300
Удельная материалоемкость, кг/л.с.	101,67	78,67	67,89	60,27	75

Примечания: 1 – с задним навесным устройством в транспортном положении; 2 – по выхлопной трубе – 3085мм; 3 – наряду с Д-442-22 трактор комплектовался и дизелем А-41И; 4 - в скобках – с включенным УКМ.

В процессе производства трактор ДТ-75 постоянно совершенствовался и модернизировался.

Таблица 2

Тяговые показатели тракторов ДТ-54А, ДТ-75, ДТ-75М и «Агромаш-90ТГА» на стерне колосовых

Показатель	ДТ-54А	ДТ-75	ДТ-75М	Агромаш-90ТГА
Место испытаний	Сев.-Кав. МИС	Сев.-Кав. МИС	КубНИИ-ТиМ	Сев.-Кав. МИС
Год испытаний	1962	1960	1967	2009
Эксплуатационная масса, кг	6020	5960	6735	7015
Мощность дизеля, л.с.	54,95	75,80	90,80	95,70
Показатели при максимальной крюковой мощности:				
- максимальная крюковая мощность, л.с.	42,80	56,15	69,50	81,50
- тяговое усилие, кгс	3300	3200	3690(3240)	3670
- включенная передача	I	I	I(II)	III
- скорость, км/ч	3,50	4,73	5,10(5,80)	6,00
- буксование движителей, %	2,9	4,0	1,4(1,2)	3,6
- тяговый КПД	0,779	0,741	0,768	0,810
- удельный крюковой расход топлива, г/кр.л.с.ч	240,65	267,14	237,40	222,30
Максимальное тяговое усилие, кгс,	3680	3780	4230	4658
на передаче	I	I с УКМ	I	I
при буксовании движителей, %	5,5	14,0	2,2	14,5

В 1967 г. трактор он наряду с СМД-14 получил новый дизель А-41 (АМ-41) Алтайского моторного завода мощностью 90 л.с. с увеличенным запасом крутящего момента. Машину с этим мотором выпускали под маркой ДТ-75М (рис. 3) [3]. Харьковские моторостроители вскоре на своем дизеле, получившем марку СМД-14НГ, внедрили непосредственный впрыск топлива вместо вихрекамерного смесеобразования, увеличили частоту вращения коленвала и подняли мощность до 80 л.с.

Рис. 3. Трактор ДТ-75М (двигатель АМ-41, 90 л.с.) 1967 год

Появление трактора ДТ-75М и повышение мощности ДТ-75 позволили не комплектовать их УКМ.

По заказам потребителей на ДТ-75 и ДТ-75М стали устанавливать ходоуменьшитель, обеспечивший низкие технологические скорости движения (0,33-4,74 км/ч), или реверс-редуктор.

Трактор общего назначения ДТ-75 послужил базой для создания целого семейства модификаций различного назначения. В 1969 г. начали выпускать болотоходный трактор ДТ-75Б (рис. 4) [3], отличавшийся увеличенными колеей (1570 мм), базой и шириной гусениц (670 мм); среднее условное давление на почву составляло всего 21,6 кПа. Трактор широко использовался при работах на слабонесущих почвах как в сельском хозяйстве, так и в других отраслях, особенно на торфоразработках.

Рис. 4. Болотоходный трактор ДТ-75Б 1969 год

В 1972-1976 гг. выпускали крутосклонный трактор ДТ-75К (рис. 5) [3]. Он имел унифицированную с ДТ-75Б ходовую систему (но с гусеницами шириной 390 мм и усиленными амортизаторами направляющих колес), реверсивные пост управления и трансмиссию, предохранительное устройство от опрокидывания и навесные устройства сзади и спереди. Предназначался ДТ-75К для выполнения сельскохозяйственных работ на склонах с движением челночным способом, без разворотов в конце гона; поставлялся в горные районы республик Закавказья, Средней Азии, Западной Украины.

Рис. 5. Крутосклонный трактор ДТ-75К 1972 год

В конце 60-х годов тракторы ВгТЗ получили новую подвеску с одинарной пружиной-рессорой кареток, обеспечившую снижение забиваемости,

повышение грузоподъемности и плавности хода, с долговечной двойной осью качания и поддерживающие ролики с резиновыми бандажами. Независимый ВОМ уступил место более надежному зависимому, подходящему для гусеничного трактора.

С середины 70-х годов тракторы семейства ДТ-75 стали комплектовать подрессоренным сиденьем тракториста, регулируемым по весу и росту.

Выпуск машин нового семейства из года в год нарастал и достиг на ВгТЗ максимума в 1978 г., когда с его конвейеров сошло 84 тысячи тракторов.

В 1979 г. дизайн тракторов ВгТЗ кардинально изменили: внедрили новую, более комфортабельную, смещенную вправо кабину прямоугольных форм и соответствующий ей капот. Эта кабина обеспечивала лучшую обзорность на правую гусеницу и агрегатируемые орудия; трактористу не нужно стало при работе принимать неудобную позу, наклоняясь вправо. Кроме подрессоренного регулируемого сиденья тракториста, кабина комплектовалась вентиляционно-охладительной установкой испарительного типа, калориферным отопителем, эффективной тепло-, шумо- и виброизоляцией, электрическим стеклоочистителем и омывателем лобового стекла. Пуск дизеля стал возможен с рабочего места; в систему управления сцеплением ввели гидроусилитель. Трактор с новым верхним строением с дизелем СМД-14НГ получил марку ДТ-75В, его болотоходная модификация – ДТ-75БВ, трактор с дизелем А-41 – ДТ-75МВ (рис. 6-8).

Рис. 6. Трактор ДТ-75В с новой кабиной и двигателем СМД-14НГ 1979 год.

Рис. 7. Болотоходный трактор ДТ -75БВ

Рис. 8. Трактор ДТ-75МВ с новой кабиной и двигателем А-41

Отметим и другие внесенные изменения:

- карданный вал автомобильного типа; тормоза ПМП с фрикционными пластмассовыми колодочками вместо асботканых лент; конечные передачи с плавающими венцами ведомых шестерен;
- лонжероны рамы из сварной трубы прямоугольного сечения, объединенные задние кронштейны и облегченные поперечные брусья рамы;
- ванадийсодержащие стали: 45ФЛ и 20ФЛ для деталей ходовой и несущей систем; опорные катки с большей глубиной закалки обода; усовершенствованные уплотнения подшипниковых узлов ходовой системы и трансмиссии; гидравлический механизм натяжения гусениц; гусеницы (по заказу потребителей) со звеньями шириной 470 мм и пальцами диаметром 25 мм; пальцы гусениц из марганцовистых сталей;
- гидроситема с повышенным с 10 до 16 МПа рабочим давлением масла и сменными фильтрами с тонкостью очистки 10 мкм; усовершенствованное заднее навесное устройство с телескопическими быстросоединяемыми нижними тягами;
- генератор переменного тока повышенной мощности со встроенным выпрямителем; прямой электростартерный пуск дизеля; необслуживаемые аккумуляторные батареи большой емкости.

В начале 90-х годов тракторы ВгТЗ стали комплектоваться дизелями с турбонаддувом мощностью 95 л.с.: харьковским СМД-18Н и барнаульским Д-440-22; машины с ними получили марки соответственно ДТ-75Н и ДТ-75Д (рис. 9, 10) [4]. Мощность Д-440-22 в дальнейшем была подняли до 110 л.с.

Рис. 9. Трактор ДТ-75Н с двигателем СМД-18Н (турбонаддув, 95 л.с.)

Рис. 10. Трактор ДТ-75Д с двигателем Д-440-22 (турбонаддув, 110 л.с.)

Во второй половине 90-х гг. под маркой ДТ-75РМ выпускали трактор с рыбинским дизелем РМ-80 мощностью 80 л.с., вели работы по повышению мощности этого двигателя до 120 л.с. (РМ-120); внедрили опытно-промышленные партии тракторов ДТ-75Л с минским дизелем Д-260 и ДТ-75МД со словацким дизелем Мартин Z8604.10 (95 л.с.).

В середине 90-х гг. вместо ДТ-75БВ на конвейер был поставили торфяной трактор ДТ-75ДТ. Небольшими партиями по заказам потребителей выпускали пропашной трактор ДТ-75НП (ДТ-75ДП).

На базе ДТ-75 создали более совершенные пахотные тракторы. Это выпущенный в 1986 г. на конвейер энергонасыщенный скоростной ДТ-175С (потом ДТ-175М) «Волгарь» мощностью 170 л.с. с автоматической бесступенчатой гидромеханической трансмиссией, затем машины нового поколения: в 1994 г. ВТ-100Н и ВТ-100Д мощностью 120-130 л.с. и в 2005 г. ВТ-150Д мощностью 150 л.с. [5, 6]. Планировали, что ВТ-100 заменит на конвейере трактор ДТ-75, но «ветеран» продержался в производстве параллельно еще 14 лет, до 2009 г., когда его сменил «Агромаш-90ТГ» (рис. 11).

Рис. 11. Трактор Агромаш-90ТГ (ВТ-90), сменивший легендарный ДТ-75. 2009 год

С 1968 г. трактор ДТ-75М выпускали и на Павлодарском тракторном заводе (ПТЗ) сначала под той же маркой, затем как ДТ-75МЛ, ДТ-75Т, Т-90П с именем собственным «Казахстан».

Результаты и обобщения. Тракторы семейства ДТ-75 были поистине уни-

версальны. В сельском хозяйстве с различными машинами и орудиями (а их с трактором агрегатировалось более 200 наименований) они во всех почвенно-климатических зонах страны они выполняли не только работы общего назначения, но и использовались на междурядной обработке пропашных культур, уборке урожая, поливе, внесении удобрений, на транспорте в условиях бездорожья и так далее.

Благодаря высокой проходимости, малым давлению на почву и буксованию по сравнению с колесными тракторами, ДТ-75 мог весной на несколько дней раньше выходить в поле, а осенью – на несколько дней позже уходить с полей, что весьма важно для России, значительная часть посевных площадей которой расположена в зоне рискованного земледелия. А благодаря высокому тяговому КПД тракторы типа ДТ-75, пожалуй, и сегодня остаются непревзойденными по малому погектарному расходу топлива.

Весьма распространены были тракторы ДТ-75 и в промышленности, строительстве, мелиорации, на торфодобыче и в других отраслях. Наиболее известен бульдозер на базе тракторов типа ДТ-75 – самый массовый бульдозер в России.

Тракторы семейства ДТ-75 работали и под землей, в сланцевых шахтах Эстонии, бывали и в небе: в труднодоступные районы при необходимости их доставляли самолетами и даже сбрасывали на парашютах.

География экспортных поставок этих машин была широка: охватывала десятки стран от Финляндии на севере до стран Африки на юге, от Вьетнама на востоке до Кубы на западе. В страны с жарким климатом тракторы поставляли с тентом вместо кабины.

За 46 лет производства этой машины от ДТ-75 до ДТ-75Д мощность ее возросла на 47%, эксплуатационная масса увеличилась на 12-18%, номинальное тяговое усилие поднялось на 15% (с 31,4 до 36 кН), максимальное – на 23% (с 37 до 45,7 кН), скорость при тяговом усилии 27,5-28 кН возросла на 28% (с 5,41 до 6,9 км/ч), срок службы до первого капитального ремонта увеличился вдвое: с 4 до 8 тыс. моточасов.

Выводы. За счет удачной конструкции и постоянной модернизации, трактор ДТ-75 стал самым распространенным гусеничным трактором в нашей стране. Всего ВгТЗ и ПТЗ выпустили более 2,7 млн таких машин.

Библиографический список

1. *Долматовский Ю.А., Трепененков И.И., Леоничева С.К. Тракторы и автомобили. Краткий справочник. Изд. четвертое, исправл. и дополн. М.: Колос. 1966. 383 с.*
2. *Колобов Г.Г., Парфенов А.П. Тяговые характеристики тракторов. М.: Машиностроение. 1972. 157 с.*
3. *Шаров М.А., Дивинский А.А., Харченко Н.П. Тракторы ДТ-75М, ДТ-75Б, ДТ-75К. М.: Колос. 1978. 375 с.*
4. *Шаров И.М., Косенко В.В. Трактор ДТ-75Д. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. Волгоград: ОАО «ВгТЗ». 2003. 256 с.*
5. *Галкин С.Н., Бычков В.П., Косенко В.В. Волгоградский тракторный: вчера, сегодня, завтра // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. N6. С 4-6.*
6. *Стопалов С.Г., Архипов В.С., Косенко В.В. Сельскохозяйственные тракторы. Технические и эксплуатационные характеристики: справочник. М.: НП «Гильдия «АПК-ПРЕСС». 2007. 143 с.*

References

1. Dolmatovsky Y.A., Trainingof I.I., Leonicheva S.K. Tractors and cars. Quick reference. Ed. fourth, corrected. and more. M.: Ear. 1966. 383 p.

2. Kolobov, G.G., Parfenov A.P. Traction characteristics of tractors. M.: Engineering. 1972. 157 p.

3. Balls, M.A., Divinsky, A.A., Kharchenko N. P. Tractors DT-75M, DT-75Б, DT-75K. Moscow: Kolos. 1978. 375 p.

4. Balls I.., Kosenko V.. Tractor DT-75D. Operation and maintenance manual. Volgograd: JSC "VGTZ". 2003. 256 p.

5. Galkin S. N., Bychkov V. P., Kosenko V. V. Volgograd tractor: yesterday, today, tomorrow // Tractors and agricultural machines. 2005. N6. C 4-6.
6. Stepanov S. G., Arkhipov V. S., Kosenko V. V. Agricultural tractors. Technical and operational characteristics: Handbook. M: NP "the Guild "APK-PRESS". 2007. 143 p.