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

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

№4 (137) 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) свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 г.

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 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: **tsmvim@mail.ru**; valpal-1938@mail.ru

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

Выходит 4 раза в год
Подписано в печать 01.12.2019 г., Формат 60 х 84/8. Объем 26,25 п.л., Тираж 100 экз., заказ 950.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

© 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 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: **tsmvim@mail.ru**; 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.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ.
РЕМОНТ

Соловьев Р.Ю., Черанев С.В., Карякин С.Б.,
Коломейченко А.В., Грибов И.В
О центре сельскохозяйственного машиностроения 12
Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А., Мишина З.Н.
Задачи инженерных служб АПК по развитию
сельскохозяйственного производства. 19
Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н., Шарко А.А., Мартышин А.А.
Совершенствование системы очистки отработавших газов
дизельных двигателей автотракторной техники 29
Абдумуминова Д.Т., Юлдашев Ш.У., Кравченко И.Н., Корнеев В.М.
Исследование влияния микронеровностей и износа рабочего
колеса на работоспособность водяных насосов. 39
Годжаев З.А., Русанов А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А.
Новые требования к методам оценки воздействия движителей ходовых систем
сельскохозяйственной техники на почву 48
Гвоздев А.А., Дунаев А.В.
Уменьшение износа трибопар вследствие электровоздействия на масла 58
Пастухов А.Г., Тимашов Е.П.
Обеспечение реализации цифровых систем диагностирования элементов
трансмиссии на основе тепловыделения 68
Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Захарин А.В., Лебедев П.А.
Результаты проведения многофакторного эксперимента по определению
скорости изнашивания пар трения вакуумного насоса 76
Дорохов А.С., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Макаркин И.М.,
Саяпин А.С., Ивлева И.Б.
Проект цифровой системы для диагностирования
ресурсоопределяющих узлов коробок перемены передач
с гидравлическим управлением мобильных энергетических средств. 83

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Иванов В.И., Козырь А.В., Коневцов Л.А., Аулов В.Ф.
Износо- и коррозионностойкие электроискровые покрытия для упрочнения и восстановления деталей и инструментов 98
Дорохов А.С., Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А.
Использование цифровых технологий при формировании системы утилизации выведенной из эксплуатации техники 109
Коломейченко А.В., Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Кузнецов И.С., Лабусова Т.А., Мишина З.Н.
Упрочнение изношенных деталей режущего аппарата жаток износостойкими нанокристаллическими покрытиями 118
Иванов В.П., Вигерина Т.В.
Деформации коленчатых валов при их восстановлении с использованием наплавки 127
Рудик Ф.Я., Богатырев С.А., Лялякин В.П.
Повышение ресурса корпусных деталей бандажированием 136
Федотов А.В.
Методы дезагрегации наноструктурных порошков. 144
Юдин В.М., Вихарев М.Н., Слинко Д.Б.
Восстановление посадочных отверстий корпусных деталей гальваническими покрытиями. 152
Пыдрин А.В., Нагнибедова Е.В., Пикина А.М., Фархуд Н.Н., Прудников А.И., Петрищев Н.А.
Определение трибологических характеристик инновационных СОЖ 160
Габитов И.И., Костарев К.В., Балтиков Д.Ф.
Моделирование конструктивных и технологических параметров газогенераторной установки 168
Фархшатов М.Н., Масягутов Р.Ф.
Расчет температур в зоне контакта при электроконтактной приварке ленты в импульсном режиме источника тока. 174
Старовойтов С.И., Улюкина Е.А., Ахалая Б.Х., Коноплев В.Е., Квас С.А.
О формировании покрытия из сверхвысокомолекулярного полиэтилена методом полимерного окрашивания 181

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Карасев А.В.
От «Фордзона» к «Формолу» 188
Иванов В.И., Денисов В.А.
Развитие электроискровых технологий и оборудования для АПК 195
Прилукова Е.Г.
Российский электротрактор: от вола и лошади до электричества *205*
Ценч Ю.С.
О становлении российского сельскохозяйственного машиностроения 213
Г*оджаев З.А., Ценч Ю.С., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Зубина В.А.*
Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз). 220
Щербинин Д.Ю.
История использования фототехники на борту пилотируемых космических аппаратов в интересах сельского хозяйства 230

CONTENTS

MAINTENANCE. REPAIR

Solov'yev R.Yu., Cheranev S.V., Karyakin S.B., Kolomeychenko A.V., Gribov I.V.
About the center of agricultural engineering 12

Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buryakov S.A., Mishina Z.N.
Tasks of engineering services of agroindustrial complex for the development of agricultural productio 19

Kravchenko I.N., Erofeyev M.N., Sharko A.A., Martyshin A.A.
Improvement of exhaust gases cleaning system for diesel engines of vehicles 29

Abdumuminova D.T., Yuldashev Sh.U., Kravchenko I.N., Korneyev V.M.
Influence of micro-roughness and the wear of the driving wheel on the operation of water pumps 39

Godzhayev Z.A., Rusanov A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A.
New requirements for methods of assessing the impact of moving systems of agricultural machinery on the soil 48

Gvozdev A.A., Dunayev A.V.
Reducing of wear of friction parts using electrically processed lubricants 58

Pastukhov A.G., Timashov E.P.
Implementation of digital diagnostic systems of transmission elements based on heat dissipation 68

Lebedev A.T., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A.
Results of a multi-factor experiment for determining the wearing of the friction pair of a vacuum pump 76

Dorokhov A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Makarkin I.M., Sayapin A.S., Ivleva I.B.
Design of digital system for diagnostics of resource-determining units of gear boxes with hydraulic control of mobile power means 83

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS

Ivanov V.I., Kozyr' A.V., Konevtsov L.A., Aulov V.F.
Wear and corrosion resistant electro-spark coatings for hardening
and repairing of parts and tools 98
Dorokhov A.S., Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buryakov S.A
The use of digital technologies in the formation of the disposal
system for decommissioned equipment 109
Kolomeychenko A.V., Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Kuznetsov I.S., Labusova T.A., Mishina Z.N.
Hardening of worn parts of the header cutting part with wear-resistant
nanocrystalline coatings. 118
Ivanov V.P., Vigerina T.V.
Deformations of crankshafts at their recovery using surfacing 127
Rudik F.Ya., Bogatyrev S.A., Lyalyakin V.P.
Investigation of the surface layer of electric spark coating 136
Fedotov A.V.
Methods of disagregation of nanostructural powders. 144
Yudin V.M., Vikharev M.N., Slinko D.B.
Restoration of landing holes of body parts by galvanic coating. 152
Pydrin A.V., Nagnibedova E.V., Pikina A.M., Farkhud N.N., Prudnikov A.I., Petrishchev N.A.
Determination of tribological characteristics of innovative coolant. 160
Gabitov I.I., Kostarev K.V., Baltikov D.F.
Modeling of constructive and technological parameters of gas generator 168
Farkhshatov M.N., Masyagutov R.F.
Calculation of temperatures in the contact zone during electric contact
tape welding in the pulse mode of current source. 174
Starovoytov S.I., Ulyukina E.A., Akhalaya B.Kh., Konoplev V.E., Kvas S.A.
Formation of a coating from ultrahigh molecu-lar weight polyethylene
by polymer painting 181

THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Karasev A.V.
From «Fordson» to «Farmall» 188
Ivanov V.I., Denisov V.A.
Development of electric spark technologies and equipment for AIC. 195
Prilukova E.G.
Russian electric tractor: from ox and horse to electricity. 205
Tsench Yu.S.
On the formation of Russian agricultural engineering 213
Godzhaev Z.A., Tsench Yu. S., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A.
Strategy of russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast) 220
Shcherbinin D.Yu.
The history of the use of onboard photographic equipments
of manned spacecrafts for agriculture 230

Требования к оформлению материалов для опубликования

Журнал **«ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН»** входит в Перечень изданий, рекомендованных ***ВАК РФ*** для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук.

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

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

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. **Times New Roman** через 1,5 интервала, не более 20 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – **jpg** или **tif** с разрешением **300 dpi**, графики, диаграммы – в **eps** или **ai**. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

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

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

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

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

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

Библиографический список (от 10 источников за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

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

Объем реферата – 200-250 слов.

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

На английский язык следует перевести:

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

Машинный перевод недопустим!

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

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

Адрес для отправления материалов:
e-mail: ***tsmvim@mail.ru****; valpal-1938@mail.ru*
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, дом 1, с отметкой «Технический сервис машин», Лялякину Валентину Павловичу.
Телефон для справок: 8 (499) 174-88-11; 8 (495) 371-21-44

Requirements for the design of materials for publication

The journal "**Technical Service of Machines"** is included in the List of Periodicals recommended by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation for the publication of works of competitors for scientific degrees of Candidate and Doctor of Sciences.

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

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

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

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

Simple inline and single-line formulas must be typed in characters in the **Microsoft Word formula** editor without using special editors. It is not allowed to set part of the formula with symbols, and part in the formula editor. If the formulas

are taken from other sources, it is not necessary to give them detailed explanation: the authors of the formulas have already done that, they should not be repeated. Links to notation of the formulas is required. The article should contain no more than 10 formulas, 3-4 illustrations, 3-4 tables, tables must be not larger than 1/2 page.

Each article should contain the following information:
- article title;
- surname, name and patronymic of the author (authors);
- e-mail of the author, contact phone number;
- work place of the author(s) (abbreviations are not allowed), postal address;
- academic degree, academic title of the author;
- abstract;
- keyword;
- bibliographic list.

The article should be structured by specifying the following sections:
- Introduction (relevance);
- Research purpose;
- Materials and methods;
- Results and discussion;
- Conclusion *Conclusion*.

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

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

The size of the abstract – 200-250 words.

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

The next must be translated in English:
- article title;
- work place of the author (s);
- abstract and keywords;
- names of literary sources.

Machine translation is not allowed!

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

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

Address for sending materials:

e-mail: ***tsmvim@mail.ru****; valpal-1938@mail.ru*

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

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

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

УДК 62.523:62.529

О ЦЕНТРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рудольф Юрьевич Соловьев, директор,
кандидат технических наук, доцент;
Святослав Васильевич Черанев;
Сергей Борисович Карякин, кандидат технических наук;
Александр Викторович Коломейченко, профессор,
доктор технических наук;
Иван Васильевич Грибов, кандидат технических наук,
ведущий специалист, e-mail: ivan.gribov@nami.ru
Центр сельскохозяйственного машиностроения,
Государственный научный центр Российской Федерации
ФГУП «НАМИ», Москва, Российская Федерация

Реферат. *Основные тенденции создания современных сельскохозяйственных машин следующие: улучшение эксплуатационных характеристик выпускаемой техники; внедрение автоматизированного и дистанционного и(или) беспилотного управления, систем телеметрии; переход на электрические и гибридные приводы; разработка новых образцов техники на основе модульных платформ; снижение трудоемкости выполняемых технологических операций; переход на цифровое сельское хозяйство с развитием технологий точного земледелия. (Цель исследования) Создать высокотехнологичный трактор на основе модульной платформы с автоматизированной и(или) автоматической системой управления, оснащенной современными информационными системами. (Материалы и методы) Методологической основой исследования стали документы, имеющие отношение к научно-технологическому развитию Российской Федерации, цифровой экономике, сельского хозяйства, а также работы отечественных ученых в области интеллектуализации техники и беспилотного управления. Использовали в ходе исследования экономико-статистический метод. (Результаты и обсуждение) Показали необходимость создания тракторов 0,6-2 тяговых классов с высокой степенью автоматизации, которые востребованы в агропромышленном комплексе. Представили принцип построения модульной платформы 4К4а с гибридной силовой установкой и унификацией мостов, и некоторые технические характеристики для каждого тягового класса высокотехнологичного трактора. Указали, что для условий цифрового сельского хозяйства должна предусматриваться возможность управления высокотехнологичными тракторами в дистанционном и(или) беспилотном режимах эксплуатации. (Выводы) Разработка, производство и использование высокотехнологичных тракторов 0,6-2 тяговых классов с автономной системой управления на перспективной элементной базе с электромеханическим и гибридным приводом позволит интенсифицировать научно-технологическое развитие страны, существенно повысить эффективность сельского хозяйства и совершить переход в сторону его цифровизации.*

Ключевые слова: *центр, отдел, сельскохозяйственное машиностроение, экспертиза, аналог, локализация, НИОКР, трактор, тяговый класс, авто-*

матизация, беспилотное управление, модульная платформа.

Для цитирования: *Соловьев Р.Ю., Черанев С.В., Карякин С.Б., Коломейченко А.В., Грибов И.В. О центре сельскохозяйственного машиностроения // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 12-18.*

ABOUT THE CENTER OF AGRICULTURAL ENGINEERING

Rudol'f Yu. Solov'yev, director, Ph.D. (Eng.), assistant professor;
Svyatoslav V. Cheranev;
Sergey B. Karyakin, Ph.D. (Eng.)
Aleksandr V. Kolomeychenko, professor, Dr. Sc. (Eng.)
Ivan V. Gribov, Ph.D. (Eng.), leading specialist
Center of Agricultural Engineering, State Research Center of the Russian Federation, FSUE "NAMI", Moscow, Russian Federation

Abstract. *The main trends in the creation of modern agricultural machines are: improvement of operational characteristics of manufactured equipment; introduction of automated and remote and(or) unmanned control, telemetry systems; transition to electric and hybrid drives; development of new equipment based on modular platforms; reducing the complexity of technological operations; transition to digital agriculture with the development of precision farming technologies. (Research purpose) The research purpose is creation of a high-tech tractor based on a modular platform with an automated and (or) automatic control system equipped with modern information systems. (Materials and methods) The methodological basis of the study is the documents related to the scientific and technological development of the Russian Federation, digital economy, agriculture, as well as the work of domestic scientists in the field of intellectualization of technology and unmanned control. The economic and statistical method was used in the study. (Results and discussion) The article shows the need for creation of tractors of 0,6-2 traction classes with a high degree of automation, which are in demand in the agro-industrial complex. The article presents the construction principle of a 4K4a modular platform with hybrid power plant and unification of axles, and some technical characteristics for each traction class of high-tech tractor. The article points out that for the digital agriculture, the possibility of controlling high-tech tractors in remote and (or) unmanned modes of operation should be provided. (Conclusion) Development, production and use of high-tech tractors of 0.6-2 traction classes with autonomous control system on a promising element base with electromechanical and hybrid drive will intensify the scientific and technological development of the country, significantly improve the efficiency of agriculture and make the transition towards its digitalization.*

Keywords: *center, department, agricultural machinery, inspection, analog, localization, Research and Develoment Activity, tractor, traction class, automatization, drone control, modular platform.*

For citation*: Solov'yev R.Yu., Cheranev S.V., Karyakin S.B., Kolomeychenko A.V., Gribov I.V. O tsentre sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya. [About the center of agricultural engineering]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 12-18 (In Russian).*

Введение. Центр сельскохозяйственного машиностроения образован в структуре ФГУП «НАМИ» в сентябре 2017 г. для решения вопросов, связанных с развитием сельскохозяйственного машиностроения, и состоит из четырех отделов: перспективных технологий; научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; технологического регулирования и сертификации; исследований компонентной базы сельскохозяйственной техники. В Центре работают 15 человек, среди которых 5 имеют ученые степени кандидата и доктора наук. За 2 с небольшим года была проведена достаточно большая работа:

1. В рамках нормативной деятельности разработаны и утверждены Председателем Правительства Российской Федерации Д.А. Медведевым поправки, касающиеся льноуборочной техники, в Постановление Правительства №1432 от 27.12.2012 г. Разработаны проекты изменений в Постановления Правительства №719 17.07.2015 г., а также №634 от 25.05.2017 г. (по изготовлению пилотных партий).

2. В рамках проведения НИОКР по созданию новых машин и оборудования заключены 4 договора с предприятиями сельхозмашиностроения. Разработано и согласовано техническое задание для проекта по созданию и производству модельного ряда коробок перемены передач для сельскохозяйственных тракторов 6 и 8 тяговых классов. Совместно с ВИМ в рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. была инициирована разработка подпрограммы «Сельскохозяйственная техника и оборудование». Подготовлен проект «Разработка и апробация архитектуры системы управления беспилотным сельскохозяйственным мобильным энергосредством, оснащенным электромеханической трансмиссией, с возможностью управления параметрами современной агрегатируемой сельскохозяйственной машины».

3. В рамках научно-технической инициативы совместно с ГК «Ростех» и АО «Петербургский тракторный завод» подготовлен проект «Система интеллектуального управления сельскохозяйственной техникой», прошедший согласование в комитете «Автонет». Создан проект «Разработка типоряда электропривода ведущих управляемых колес для самоходных сельхозмашин тяговых классов 0,6-2 (0,6; 0,9; 1,4; 2)».

4. В рамках работы по внешним заказам выполнены четыре Государственных контракта Министерства промышленности и торговли РФ.

5. В рамках экспертной деятельности проведено более 50 экспертиз и подготовлены экспертные заключения об отсутствии аналогов, локализации, НИОКР на предприятиях по Постановлениям Правительства №1135 от 20.09.2017 г., №719 от 17.07.2015 г., №1312 от 30.12.2013 г., №1432 от 27.12.2012 г. Выполнены аудиты свыше 40 предприятий по Постановлению Правительства №1432 от 27.12.2012 г.

6. На выставке «Агросалон-2018» были организованы Круглые столы: «Трактор будущего-2035» и «Развитие отечественной компонентной базы в сельскохозяйственном и строительно-дорожном машиностроении».

В настоящее время основными тенденциями при создании современных сельскохозяйственных машин стали: улучшение эксплуатационных характеристик выпускаемой техники (увеличение производительности, мощности, скорости, давления в гидросистеме; переход на альтернативные источники энергии; снижение давления на почву; улучшение условий работы механизатора); внедрение автоматизированного и дистанционного и(или) бес-

пилотного управления, систем телеметрии; переход на электрические и гибридные приводы; разработка новых образцов техники на основе модульных платформ; снижение трудоемкости выполнения технологических операций; переход на цифровое сельское хозяйство с развитием технологий точного земледелия. В связи с этим один из крупных и значимых проектов, над которым работают сотрудники Центра, – разработка модельного ряда высокотехнологичных тракторов 0,6-2 тяговых классов с высокой степенью автоматизации на основе модульной платформы.

Цель исследования – создать высокотехнологичный трактор на основе модульной платформы с автоматизированной и(или) автоматической системой управления, оснащенной современными информационными системами. Разработка таких тракторов позволит использовать современные технологии, провести цифровизацию отрасли, привлечь новый кадровый состав, в том числе молодых людей, активно осваивающих информационные технологии, к непосредственной или дистанционной работе в агропромышленном комплексе.

Материалы и методы. Методологической основой исследований стали Указы Президента, Постановления Правительства, иные документы, имеющие отношение к научно-технологическому развитию Российской Федерации, цифровой экономике, сельского хозяйства, а также работы отечественных ученых в области интеллектуализации техники и беспилотного управления. В ходе исследования использовали экономико-статистический метод.

Результаты и обсуждение. Анализ текущей и прогнозируемой ситуации, сложившейся в сельском хозяйстве нашей страны, показывает следующие тенденции: происходит устойчивое снижение трудоспособного населения на селе; планируется ввод для производства сельскохозяйственной продукции неиспользуемых земель; прогнозируется увеличение парка тракторов для проведения сельскохозяйственных работ.

Тракторы тяговых классов 0,6-2 можно использовать при выполнении различных сельскохозяйственных и других видов работ. Современные высокотехнологичные тракторы 0,6-2 тяговых классов должны разрабатывать на основе самоходной модульной платформы с гибридной силовой установкой, унифицированных мостов и изменяемой колесной базы, зависящей от тягового класса трактора (*рис.*).

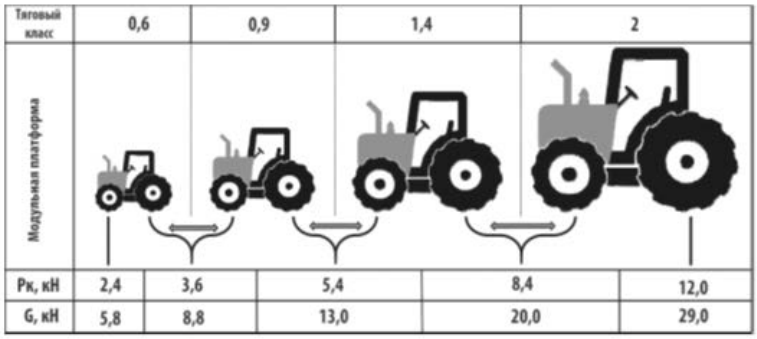


Рис. Принцип построения модульной платформы 4К4а с гибридной силовой установкой и унификацией мостов

Тип силовой установки (комбинированная): ДВС + генератор + электродвигатель или ДВС + генератор + накопитель + электродвигатель. Мосты модульной платформы при таком типе силовой установки нужно оснащать мотор-колесами. Для повышения маневренности трактор должен обладать крабовым ходом. Модульная многоосная платформа с электрической трансмиссией позволит повысить маневренность и точность позиционирования орудия, снизить балластность и улучшить использование мощностных возможностей двигателя в тяговом процессе. Все агрегаты, сборочные единицы и системы должны обладать высокими показателями надежности, так как отказ любого элемента высокотехнологичного трактора может привести к нарушению сроков проведения сельскохозяйственных работ [1, 2].

В таблице приводят некоторые технические характеристики высокотехнологичных тракторов каждого тягового класса, которыми они должны обладать при использовании модульной платформы 4К4а.

Таблица

Целевые индикаторы для высокотехнологичных тракторов с высокой степенью автоматизации

Показатель	Тяговый класс			
	0,6	0,9	1,4	2
Мощность двигателя, кВт	24	36	56	80
Полнота использования мощности (эталонная энергонасыщенность), кВт/кН	1,5	1,5	1,5	1,5
Число технологических пространств для оборудования, мест, не менее	3	3	3	3
Число технологических пространств для ёмкостей, мест, не менее	2	2	2	2
Производительность выполнения технологического процесса (вспашка), га/ч	1	1,7	2,5	5
Стоимость выполнения технологического процесса (вспашка), руб./га	1106	989	850	843
Максимальное давление движителя (колеса) на почву, кПа	74	80	80	80
Работа на междурядье (регулировка), мм	500	500	500	500
Маневренность (радиус поворота), м	2,3	2,9	3,1	3,85
Агротехнический просвет, мм	700	700	700	700
Транспортная скорость, км/ч	30	40	60	60
Грузоподъемность передней навески, кг	500	1000	1700	2800
Грузоподъемность задней навески, кг	1000	1700	2800	4000
Передний ВОМ	+	+	+	+

При создании высокотехнологичных тракторов 0,6-2 тяговых классов для условий цифрового сельского хозяйства необходимо предусматривать возможность управления ими в дистанционном и/или беспилотном режимах эксплуатации и, соответственно, наличие у них надежной и безопасной системы автономного движения, в том числе при выполнении агротехнических работ со следующими функциями: распознавание препятствий; автоматический останов перед препятствием и(или) его объезд.

Существует достаточно большое количество разработок в области интеллектуализации техники, беспилотного управления как сельскохозяйственными машинами, так и автомобилями [3-8]. Однако все известные системы не нашли в настоящее время широкого применения, что связано в первую очередь с высокой стоимостью элементной базы в пересчете на одну единицу техники. Кроме этого, на точность поддержания заданного маршрута при перемещении высокотехнологичного трактора с высокой степенью автоматизации или машинно-тракторного агрегата будут оказывать влияние: вероят-

ность различного состояния опорной поверхности (влажность, твердость) под каждым колесом; выполнение сельскохозяйственных работ в любое время суток; наличие различных по воздействию природных и атмосферных факторов; высокая запыленность при выполнении сельскохозяйственных работ, что приводит к загрязнению сенсоров технического зрения. Это необходимо будет учитывать при создании системы управления высокотехнологичным трактором в дистанционном и/или беспилотном режимах эксплуатации.

Выводы. Разработка, создание и использование высокотехнологичных тракторов 0,6-2 тяговых классов с высокой степенью автоматизации позволит достичь целевых индикаторов Ведомственного проекта Министерства сельского хозяйства РФ «Цифровое сельское хозяйство» – обеспечить цифровую трансформацию сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для создания технологического прорыва в агропромышленном комплексе и гарантировать увеличение производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза. Это также будет способствовать реализации другого Ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса» – выполнить в 2025 году с учетом государственной поддержки обновление тракторов в сельскохозяйственных организациях до уровня 3,4%, гибко перенаправлять неиспользуемую мощность высокотехнологичными тракторами различных тяговых классов. Разработка, производство и использование высокотехнологичных тракторов 0,6-2 тяговых классов с автономной системой управления на перспективной элементной базе с электромеханическим и гибридным приводом позволит обеспечить продовольственную безопасность, интенсифицировать научно-технологическое развитие Российской Федерации, существенно повысить эффективность сельского хозяйства и совершить переход в сторону его цифровизации.

Библиографический список

1. Коломейченко А.В., Кузнецов Ю.А., Логачев В.Н., Титов Н.В. Надежность технических систем. Практикум: учебное пособие. Орел: ОрелГАУ. 2013. 112 с.

2. Пучин Е.А., Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Титов Н.В., Семешин А.Л., Корнеев В.М., Коренев В.Н., Кононенко А.С., Орлов А.М., Лайко Д.В., Варнаков Д.В. Надежность технических систем. Курсовое проектирование: учебное пособие. Орел: ОрелГАУ. 2012. 96 с.

3. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Интеллектуальная сельскохозяйственная техника. М.: Росинформагротех. 2014. 124 с.

4. Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я., Колчина Л.М. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве. М.: Росинформагротех. 2017. 156 с.

5. Федоренко В.Ф., Черноиванов В.И., Гольтяпин В.Я., Федоренко И.В. Мировые тенденции интеллектуализации сельского хозяйства. М.: Росинформагротех. 2018. 232 с.

6. Нагайцев М.В., Сайкин А.М., Ендачёв Д.В. «Беспилотные» автомобили – этапы разработки и испытаний // Журнал автомобильных инженеров. 2012. N5 (76). С. 32-39.

7. Юзаева А.Г., Кукарцев В.В. Беспилотные автомобили: опасности и перспективы развития // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 2. N12. С. 120-122.

8. Халяфиев А.А., Халяфиев Р.А. Беспилотные грузовые автомобили // Научный журнал. 2016. N9 (10). С. 17-19.

References

1. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov Yu.A., Logachev V.N., Titov N.V. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Praktikum: uchebnoye posobiye [Reliability of technical systems.

Workbook: tutorial]. Orel: OrelGAU. 2013. 112 (In Russian).

2. Puchin E.A., Kolomeychenko A.V., Logachev V.N., Titov N.V., Semeshin A.L., Korneyev V.M., Korenev V.N., Kononenko A.S., Orlov A.M., Layko D.V., Varnakov D.V. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Kursovoye proyektirovaniye: uchebnoye posobiye [Reliability of technical systems. Course design: a tutorial]. Orel: OrelGAU. 2012. 96 (In Russian).

3. Chernoivanov V.I., Ezhevskiy A.A., Fedorenko V.F. Intellektual'naya sel'skokhozyaystvennaya tekhnika [Intelligent agricultural machinery]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 124 (In Russian).

4. Fedorenko V.F., Gol'tyapin V.Ya., Kolchina L.M. Intellektual'nyye sistemy v sel'skom khozyaystve [Intelligent systems in agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2017. 156 (In Russian).

5. Fedorenko V.F., Chernoivanov V.I., Gol'tyapin V.Ya., Fedorenko I.V. Mirovyye tendentsii intellektualizatsii sel'skogo khozyaystva [The global trend of intellectualization of agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 232 (In Russian).

6. Nagaytsev M.V., Saykin A.M., Endachev D.V. «Bespilotnyye» avtomobili – etapy razrabotki i ispytaniy [Driverless vehicles: development and testing stages]. Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2012. N5 (76). 32-39 (In Russian).

7. Yuzayeva A.G., Kukartsev V.V. Bespilotnyye avtomobili: opasnosti i perspektivy razvitiya [Driverless cars: dangers and prospects]. Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. 2016. Vol. 2. N12. 120-122 (In Russian).

8. Khalyafiyev A.A., Khalyafiyev R.A. Bespilotnyye gruzovyye avtomobili [Unmanned trucks]. Nauchnyy zhurnal. 2016. N9 (10). 17-19 (In Russian).

УДК 631.3-049.3

ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЛУЖБ АПК ПО РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

[1]Валерий Сергеевич Герасимов;
[1]Владимир Ильич Игнатов, доктор технических наук, главный специалист;
[1]Сергей Анатольевич Буряков, старший научный сотрудник;
[1]Зоя Николаевна Мишина, старший научный сотрудник, e-mail: rosagroserv@list.ru;
[2]Петр АлексеевичЕлизаров, руководитель подразделения селекционной техники
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация
[2]Компания Wintersteiger

Реферат. *В агропромышленном комплексе в настоящее время наблюдается сокращение объемов производства сельхозмашиностроения и снижение технологической надежности машин. В этих условиях требуется принятие мер поддержки сельхозтоваропроизводителей, включающих в себя правильное построение и эффективное использование ремонтно-эксплуатационной базы. (Цель исследования) Проанализировать основные принципы возможной модернизации инженерно-технической системы в агропромышленном комплексе с целью максимальной поддержки работоспособности всей сельскохозяйственной техники, имеющейся у сельхозтоваропроизводителей, и восстановление инженерно-технической службы как важнейшего элемента его структуры. (Материалы и методы) Обеспечение высокой работоспособности сельскохозяйственной техники требует создания и четкого функционирования материально-технической базы обслуживания и ремонта машин. Отметили, что в процессе реформирования экономики в агропромышленном комплексе наибольшим отрицательным преобразованиям подверглась именно система ремонтно-обслуживающей базы. Выявили, что многие ремонтно-технические предприятия сохранились, но до минимума сократили объемы выполнения сервисных работ с потерей значительной части квалифицированных работников. Определили, что организационная структура объектов сервиса для сельскохозяйственной техники предусматривает следующие направления совершенствования: собственная ремонтно-эксплуатационная база сельхозтоваропроизводителей; дилерские технические центры предприятий – изготовителей техники; специализированные и инновационные центры высокоресурсного ремонта техники с восстановлением и упрочнением деталей. (Результаты и обсуждение) Проанализировали работу предприятий производственно-технологического сервиса агропромышленного комплекса и установили, что они могут быть экономически конкурентны с сельхозтоваропроизводителями только в случае использования инновационных методов работы, интенсивных технологий, высокопроизводительного ремонтно-технологического оборудования, эффективной организации тру-*

да, доступной стоимости работ. (Выводы) Стратегия формирования инженерно-технологических услуг включает в себя следующие мероприятия: формирование оптимального машинно-тракторного парка; модернизацию системы машиноиспользования; продление эксплуатационного ресурса машин; развитие для сельхозтоваропроизводителей сферы услуг и модернизацию структуры управления инженерно-технической системы.

Ключевые слова: *сельскохозяйственная техника, технологии, управление, ремонт, сервис, информатика, автоматизация, роботизация, рыночная экономика, инновационное развитие, дилер.*

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

TASKS OF ENGINEERING SERVICES OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION

[1]Valeriy S. Gerasimov;
[1]Vladimir I. Ignatov, Dr. Sc. (Eng.), chief specialist;
1Sergey A. Buryakov, senior researcher;
[1]Zoya N. Mishina, senior researcher, e-mail: rosagroserv@list.ru
[2]Petr A. Elizarov, head of division breeding techniques
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation
[2]Company Wintersteiger

Abstract. *In the agro-industrial complex, there is currently a decrease in the production of agricultural machinery and a decrease in the technological reliability of machines. In these conditions, it is necessary to take measures to support agricultural producers, including the correct design and effective use of the repair and maintenance base. (Research purpose) The research purpose is analyzing of the main modernization principles of engineering systems in the agricultural sector to maximize support to the efficiency of all agricultural machinery available to farmers and restoration of engineering and technical services as an essential element of its structure. (Materials and methods) Ensuring high efficiency of agricultural machinery requires the creation and accurate functioning of the material and technical base for maintenance and repair of machines. The article notes that during the economy reforming in the agro-industrial complex, the system of repair and maintenance base underwent the greatest negative transformations. The article reveals that many repair and technical enterprises remained, but they reduced the volume of service work to a minimum with the loss of a significant number of skilled workers. It was found that the organizational structure of service shops for agricultural machinery provides for the following areas of improvement: own repair and maintenance base of agricultural producers; dealer, technical centers of equipment manufacturers; specialized and innovative centers of high-resource repair of equipment with the restoration and strengthening of parts. (Results and discussion) We have analyzed the work of enterprises of production and technological service in the agro-industrial complex and have found that they can be economically competitive with agricultural producers only in the case of*

using innovative methods of work, intensive technologies, high-performance repair and technological equipment, effective labor organization, affordable cost of work. (Conclusion) Strategy for the formation of engineering and technological services includes the following activities: formation of the optimal machine and tractor fleet; modernization of the machine use system; extension of the operational life of machines; development of services for agricultural producers and modernization of the management structure of the engineering system.

Keywords: *agricultural machinery, technology, management, repair, service, computer science, automation, robotics, market economy, innovative development, dealer.*

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

Введение. Машинно-технологический комплекс сельского хозяйства как инновационная база аграрного производства служит важнейшей производственной системой, которая определяет объемы, качество и экономические характеристики конечной сельскохозяйственной продукции.

Учитывая важную роль инженерно-технической службы в решении экономических и социальных целей аграрной политики нашего государства в обеспечении продовольственной безопасности и превращении его в ведущую продовольственную державу, перед инженерно-технической системой АПК стоят важнейшие задачи, которые должны выполняться как в интеграции с другими сферами сельскохозяйственного производства, так и самостоятельно [1]. Сложившееся за последний период положение с инженерно-техническим обеспечением у большинства сельхозтоваропроизводителей стало сдерживающим фактором дальнейшего увеличения производства сельскохозяйственной продукции и улучшения ее качества [2-5]. Более 70% имеющегося в АПК парка техники находится за пределами установленных амортизационных сроков. Ежегодные затраты на ремонт сельскохозяйственной техники (СХТ) превышают 60 млрд рублей и имеют тенденции к росту. Указанные затраты наряду с другими факторами, к сожалению, не обеспечивают высокого технического уровня машин и орудий, поэтому в этих условиях требуется принятие неотложных мер по эффективному использованию ремонтно-эксплуатационной базы [6-10].

В настоящее время сельхозтоваропроизводителям в основном приходится самостоятельно решать проблемы технического сопровождения техники на протяжении жизненного цикла, поэтому очень важен для внедрения опыт эффективной инженерной службы в АПК Республики Башкортостан и других регионов.

Цель исследования – проанализировать основные принципы возможной модернизации инженерно-технической системы в АПК с целью максимальной поддержки работоспособности всей сельскохозяйственной техники, имеющейся у сельхозтоваропроизводителей, и восстановление инженерно-технической службы (ИТС) как важнейшего элемента в структуре АПК.

Материалы и методы. Из-за низкой обеспеченности сельскохозяйственного производства современными машинами во многих хозяйствах применяют упрощенные (экстенсивные) технологии, в результате имеют место значительные потери зерна, достигающие 15-17 млн т в год.

Поэтому перед инженерно-технической службой АПК стоит задача в изыскании возможностей эффективного использования машинно-тракторного парка (МТП). Основные факторы, влияющие на работоспособность энергонасыщенной СХТ, представлены на *рисунке* 1.

Рис. 1. Основные факторы влияющие на работоспособность техники

В настоящее время формы использования машинно-тракторных агрегатов не отвечают интенсивным методам производства как по количеству, работоспособности, так и по качеству. Не находят широкого применения «прецизионные» технологии и современные информационные системы управления работой МТП. В последние десятилетия не применяют оценочный критерий машиноиспользования.

Основными целевыми показателями ИТС в области внедрения высокоэффективных технологий в сельскохозяйственное производство и улучшения машиноиспользования на ближайшую перспективу можно принять:

- освоение ресурсосберегающих технологий и доведение объемов их выполнения до 75-80% от общего объема работ, сокращение удельных показателей расхода топлива в 1,5-2 раза, расхода семян, пестицидов – в 1,5-2 раза;
- повышение выработки машин в 2-3 раза;
- сокращение удельных затрат труда при производстве сельхозпродукции, в молочном скотоводстве в 2-4 раза, свиноводстве – в 5-6 раз, в зерновом подкомплексе – в 3 раза;
- повышение коэффициента уровня технической эксплуатации до 0,9.

Система обеспечения работоспособности СХТ с основными целевыми показателями ИТС на протяжении всего жизненного цикла машин представлена на *рисунке 2*.

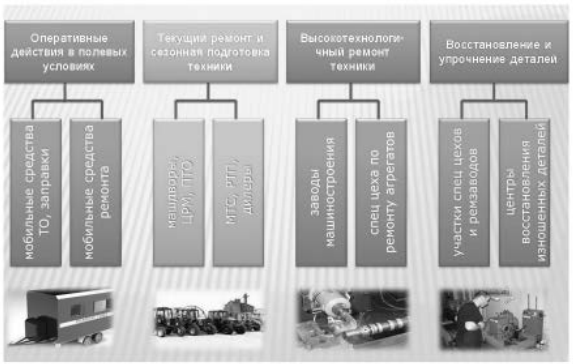


Рис. 2. Система обеспечения работоспособности машин

В последние годы основные объемы работ (более 90%) по подготовке техники к сезонным полевым работам выполняют сами сельхозтоваропроизводители: на машинных дворах, в центральных ремонтных мастерских, пунктах обслуживания. Более чем в половине хозяйств эти объекты находятся в крайне неудовлетворительном состоянии.

Установленное на этих объектах ремонтно-технологическое оборудование и имеющаяся техническая документация в большинстве своем не могут быть адаптированы к выпускаемой технике, особенно к машинам нового поколения. Для изменения такого положения необходимо финансово простимулировать хозяйства на модернизацию своих технических баз, кроме того, их надо оградить от ремонта сложных узлов и агрегатов: двигателей, гидрооборудования топливных насосов, которые в силу технологических требований не должны ремонтироваться в условиях хозяйств. Это особенно важно с учетом того, что имеют место нарастающие отказы импортной техники, которая была закуплена четыре-шесть лет назад. На данном этапе исправить положение невозможно без активного высокоиндустриального участия в решении этих вопросов предприятий сервисной инфраструктуры, заводов-изготовителей.

В арсенале ВИМ имеются комплексные разработки по технологиям ремонта машин и современному оборудованию, ресурсосберегающим методам восстановления и упрочнения деталей, организационным системам эффективного ведения работ по техническому обслуживанию и ремонту машин в АПК. Спектр технологических процессов восстановления и упрочнения деталей чрезвычайно широк, они могут применяться во всех подразделениях ремонтно-обслуживающей базы – в центральных ремонтных мастерских (ЦРМ) хозяйств, на районном уровне, в специализированных ремонтных предприятиях (СРП) и специализированных цехах восстановления изношенных деталей. Доля восстанавливаемых деталей в общем объеме потребления запасных частей достигает в развитых зарубежных странах 30-35%. В АПК России этот показатель составляет 7-15 (до 90-х годов – 24%).

Отдельно следует сказать об упрочнении деталей и, в первую очередь, рабочих органов сельхозмашин. ВИМ также проводит работы по упрочнению лемехов, отвалов, лап культиваторов, дисков. И мы можем предложить простейшие технологии, которые при минимальных затратах средств на один лемех, позволяют увеличить наработку до предельного износа в 1,5-2 раза. Сельское хозяйство становится «разумным с электронной головой», появились интеллектуальные мощности (двигателей), начата гармонизация (синхронизация) работы машинно-тракторных агрегатов (машина – орудие – трактор) на основе процессного подхода (ISOBUS – МТА – сошник – форсунка, растение – качество – корма) (*рис. 3, 4*).Изучение опыта работы инженерно-технических служб АПК в ряде ригионов страны говорит о необходимости формирования региональных сервисных центров по техническому сопровождению СХТ.

Такие центры могут быть созданы на базе региональных агроснабов, крупных РТП, ремонтных предприятий, дилеров заводов-поставщиков и других организаций, имеющих подъездные пути, механизированные площадки для погрузочно-разгрузочных работ и отвечающих основным требованиям функционирования этого предприятия. В их состав в обязательном порядке должен входить цех (участок) предпродажного и гарантийного обслуживания, оснащенный системой метрологического контроля, диа-

гностическим оборудованием, контрольно-измерительными стендами, приборами, инструментом и другой необходимой технической оснасткой.

Полный цикл проведения работ в центре потребует наличия постов (участков) по регулировке, обкатке, сборке, контролю техники.

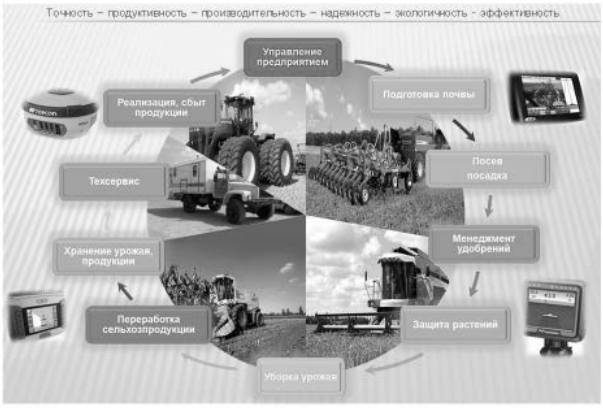


Рис. 3. Современная интеллектуальная система управления сельскохозяйственным производством

Рис. 4. Машинно-тракторные агрегаты

Результаты и обсуждение. Учитывая центральное место ИТС в решении экономических и социальных целей, аграрной политики государства, в обеспечении продовольственной безопасности, перед инженерной технической системой АПК стоят первоочередные задачи по разработке стратегии модернизации ИТС (*рис. 5*).

Особое значение система инженерно-технического сервиса имеет в деятельности фермерских хозяйств. Для них модернизированная ИТС необходима для экономии рабочего времени собственного и наемного труда.

Рабочее время фермера семейного типа до 80% расходуется на выполнение машинно-технологических работ и примерно 10% – на логистику. Но в отличие от зарубежного российский фермер часть рабочего времени использует на поддержание машин в работоспособном состоянии.

В настоящее время поставки импортной сельскохозяйственной техники осуществляются бессистемно, как правило мелкими партиями без привяз-

ки к зональным почвенно-климатическим условиям и без указаний по агрегатированию с сельскохозяйственными машинами российского производства и инофирм.

Рис. 5. Направления модернизации ИТС

В связи с этим дорогая энергонасыщенная техника используется неэффективно и имеет длительные периоды окупаемости.

Со стороны инофирм отсутствует какая-либо система обеспечения российских сельхозтоваропроизводителей ремонтной нормативно-технической документацией, что приводит к невозможности (особенно в послегарантийный период) провести качественный ремонт, обкатку и испытание отремонтированных узлов и агрегатов.

Вызовы представителей дилерских компаний даже по несложным отказам становятся высокозатратными из-за их удаленности от потребителя и продажи для ремонта только оригинальных дорогостоящих деталей, поэтому к основным стратегическим задачам инженерных служб АПК можно отнести подготовку обязательных требований к поставщикам импортной техники по комплектации поставляемой техники руководством (на русском языке) по разборке, сборке, ремонту и рециклингу машины с указанием необходимых размерных параметров и технологических режимов обкатки и испытаний.

При поставке в регион более 50 ед. однотипной техники установить для инофирм-поставщиков требование по созданию в регионе дилерских центров с обеспечением технологических возможностей проведения в них ремонта машин, агрегатов и узлов, а также изготовления и восстановления изношенных деталей.

Работа в условиях ВТО невозможна без подготовленного кадрового потенциала, способного решать эти сложные инженерные задачи. В связи с этим необходимо:

- создать систему подготовки механизаторов для работы на импортной технике и мастеров-наладчиков по ее обслуживанию и ремонту;

- подготовить программу модернизации ремонтных мастерских и ремонтно-технологического оборудования с учетом обслуживания и ремонта импортной техники;

- разработать и ввести в действие Положение о субсидировании из бюджета до 50% затрат на разработку для сельхозтоваропроизводителей про-

ектов модернизации их инженерно-технических баз и бизнес-планов в связи с поставками импортной техники в условиях ВТО.

ВИМ как федеральный инженерный центр, решающий научно-технические и технологические задачи по техническому сопровождению машинно-тракторного парка, готов обеспечить обучение специалистов инженерных служб АПК по всему комплексу вопросов, связанных с модернизацией и совершенствованием ИТС на базе своего учебно-сервисного центра.

Выводы. Основные направления модернизации инженерно-технической системы определяются ее функциями на новом этапе развития сельскохозяйственного производства, на базе целей и задач, сформулированных в Стратегии социально-экономического развития страны до 2020 года, Федеральном законе «О развитии сельского хозяйства», а также Стратегии машинно-технологической модернизации сельскохозяйственного производства до 2020 года [10]. Проведенный анализ состояния ИТС позволяет с учетом реальных возможностей сформировать основные факторы, оптимизирующие инженерную службу АПК на ближайшую перспективу.

К ним можно отнести:

- восстановление управления инженерно-технической системой по всей вертикали;
- разработку Целевой программы ведомства «Развитие инженерно-технической системы сельскохозяйственного производства до 2030 года;
- повышение коэффициента технической готовности парка машин до уровня 0,95-0,98;
- разработку проекта ведомственной целевой программы использования системы «ГЛОНАСС» в проведении технического сопровождения сельскохозяйственной техники;
- сокращение удельных затрат на ремонт и техобслуживание МТП с 10-12 до 4-5% от себестоимости продукции;
- модернизацию ремонтно-обслуживающей базы;
- разработку и ввод в систему экономических показателей оценки работы агропромышленных формирований индикаторы инженерно-технической системы;
- уменьшение финансовых затрат при использовании восстановительных деталей на 15-20%;
- освоение ремонта машин по потребности в зависимости от состояния агрегатов при введении системы соблюдения сроков планово-предупредительного техобслуживания.

Библиографический список

1. *Бурак П.И. Роль технического и технологического перевооружения АПК в реализации Государственной программы на 2013-2020 годы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N6. С. 5-6.*
2. *Сельское хозяйство России. М.: Росинформагротех. 2014. 48 с.*
3. *Агропромышленный комплекс России в 2012 г. М.: Росинформагротех. 2013. 604 с.*
4. *Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2012 г. Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг. М.: Росинформагротех. 2014. 342 с.*
5. *Кузьмин В.Н. Разработка программ технического оснащения сельского хозяйства в рыночной экономике. М.: Росинформагротех. 2014. 304 с.*

6. Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Голубев И.Г. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях. М.: Росинформагротех. 2008. 148 с.

7. Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Назаров М.В., Голубев И.Г. Оптимизация ремонтно-обслуживающей базы АПК. М.: Росинформагротех. 2007. 52 с.

8. Черноиванов В.И., Краснощеков Н.В., Горячев С.А., Щеглов Е.В., Пильщиков Л.М. Мониторинг состояния предприятий инженерно-технической инфраструктуры АПК по техническому обслуживанию и ремонту отечественной и импортной сельхозтехники. М.: Росинформагротех. 2009. 98 с.

9. Бабкин К.А., Черноиванов В.И., Горячев С.А., Пильщиков Л.М., Иванов Д.С., Бутова М.В., Голубев И.Г. Обновление основных производственных фондов сельскохозяйственных предприятий России. М.: Росинформагротех. 2007. 160 с.

10. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717. М.: Росинформагротех. 2012. 204 с.

References

1. Burak P.I. Rol' tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo perevooruzheniya APK v realizatsii Gosudarstvennoy programmy na 2013-2020 gody [The role of technical and technological re-equipment of agriculture in the implementation of the State program for 2013-2020]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2013. N6. 5-6 (In Russian).

2. Sel'skoye khozyaystvo Rossii [Agriculture of Russia]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 48 (In Russian).

3. Agropromyshlennyy kompleks Rossii v 2012 g. [Agro-industrial complex of Russia in 2012]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2013. 604. (In Russian).

4. Natsional'nyy doklad «O khode i rezul'tatakh realizatsii v 2012 g. Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013-2020 gg. [National report "The progress and results of implementation in 2012 of the State program of agriculture development and regulation of agricultural products markets, raw materials and food for 2013-2020]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 342 (In Russian).

5. Kuz'min V.N. Razrabotka programm tekhnicheskogo osnashcheniya sel'skogo khozyaystva v rynochnoy ekonomike [Development of programs of technical equipment of agriculture in the market economy]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 304 (In Russian).

6. Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Pil'shchikov L.M., Golubev I.G. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye, remont i obnovleniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v sovremennykh usloviyakh [Maintenance, repair and updating of agricultural machinery in modern conditions]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2008. 148 (In Russian).

7. Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Pil'shchikov L.M., Nazarov M.V., Golubev I.G. Optimizatsiya remontno-obsluzhivayushchey bazy APK [Optimization of repair and maintenance base of agroindustrial complex]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2007. 52 (In Russian).

8. Chernoivanov V.I., Krasnoshchekov N.V., Goryachev S.A., Shcheglov E.V., Pil'shchikov L.M. Monitoring sostoyaniya predpriyatiy inzhenerno-tekhnicheskoy infrastruktury APK po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu otechestvennoy i importnoy sel'khoztekhniki [Monitoring of the state of enterprises of engineering and technical infrastructure of agriculture for maintenance and repair of domestic and imported agricultural machinery]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 98 (In Russian).

9. Babkin K.A., Chernoivanov V.I., Goryachev S.A., Pil'shchikov L.M., Ivanov D.S., Butova M.V., Golubev I.G. Obnovleniye osnovnykh proizvodstvennykh fondov

sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy Rossii [Renewal of fixed assets of agricultural enterprises of Russia]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2007. 160 (In Russian).

10. Gosudarstvennaya programma razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniye rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013-2020 gody. Utv. postanovleniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 14 iyulya 2012 g. №717 [State program of agriculture development and regulation of markets of agricultural products, raw materials and food for 2013-2020. Approved. resolution of the Government of the Russian Federation No. 717 of 14 July 2012]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2012. 204 (In Russian).

УДК 629.3.014.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Игорь Николаевич Кравченко[1], доктор технических наук, профессор;
Михаил Николаевич Ерофеев[2], доктор технических наук, профессор, e-mail: nic-tech@yandex.ru;
Алексей Алексеевич Шарко[1], магистрант;
Алексей Александрович Мартышин[3], кандидат технических наук
[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
[2] Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация;
[3] Тюменское высшее военно-инженерное училище имени маршала А.И. Прошлякова, г. Тюмень, Российская Федерация

Реферат. *В настоящее время все большее распространение получают дизельные двигатели. Одним из актуальных направлений исследований становится унификация конструкций систем снижения токсичности для всех автотракторных двигателей. (Цель исследования) Совершенствование системы очистки отработавших газов силовой установки автотракторной техники за счет разработки математической модели расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов. (Материалы и методы) Проанализировали принципы работы и особенности применения каталитических нейтрализаторов, на основе которых сформулированы требования к их конструкции. Провели оценку эффективности конверсии токсичных веществ в нетоксичные материалы, а также газодинамического сопротивления каталитического нейтрализатора. (Результаты и обсуждение) Получили величину гидросопротивления выбранного нейтрализатора, удовлетворяющую требованиям ТУ 37.001.011-70. Выполнили расчет по подбору агрегата для нейтрализации вредных веществ отработавших газов двигателя КамАЗ-740. Установили на основе анализа методов снижения содержания токсичных компонентов в отработавших газах дизеля, что наиболее эффективно и экономически целесообразно применение в выпускной системе двигателя каталитического нейтрализатора на шариковом носителе. (Выводы) Разработали математическую модель, адекватно описывающую газодинамические, химические и тепловые процессы, протекающие в нейтрализаторе. Осуществили оптимизацию конструктивных параметров каталитических нейтрализаторов с учетом затрат на их производство и эксплуатацию. Получили зависимости, позволяющие рассчитать газодинамическое сопротивление и перепад давления в нейтрализаторе с учетом его конструктивных параметров и изменения тепловых и химических процессов в реакторе при эксплуатации.*

Ключевые слова: *каталитический нейтрализатор, газодинамическое сопротивление, модель, катализатор, эффективность нейтрализации,*

Для цитирования: *Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н., Шарко А.А., Мартышин А.А. Совершенствование системы очистки отработавших газов дизельных двигателей автотракторной техники // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 29-38.*

IMPROVEMENT OF EXHAUST GASES CLEANING SYSTEM FOR DIESEL ENGINES OF VEHICLES

Igor' N. Kravchenko[1], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Mikhail N. Erofeev[2], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Aleksey A. Sharko[1], master student;
Aleksey A. Martyshin[3], Ph.D.(Eng.)
[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;
[2] Institute of Machines Science named after A.A.Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;
[3] Tyumen Higher Military Engineering School named after Marshal A.I. Proshlyakov, Tyumen, Russian Federation

Abstract. *Currently diesel engines are becoming increasingly common. Nevertheless, they do not always meet today's stringent requirements for the toxicity of exhaust gases. Unification of designs of systems of toxicity decrease for all motor-tractor engines becomes one of actual research directions. (Research purpose) The research purpose is improving the exhaust gas cleaning system of automotive vehicles engines by developing a mathematical model for calculating the main parameters of catalytic converters. (Materials and methods) We have analyzed the operation principles and features of the use of catalytic converters, on the basis of which the requirements for their design are formulated. The article presents the efficiency of conversion of toxic substances into non-toxic materials, as well as the gas dynamic resistance of the catalytic converter. (Results and discussion) The hydroresistance value of the selected neutralizer satisfying the requirements of TU 37.001.011-70 was got. The article presents the performed calculation for the choice of the unit for neutralization of toxic substances of exhaust gases of the KAMAZ-740 engine. Based on the analysis of methods for reducing the content of toxic components in diesel exhaust gases, it was found that the most effective and cost-effective application in the exhaust system of the engine of a catalytic converter using a ball carrier. (Conclusion) The article presents a designed mathematical model that adequately describes the gas-dynamic, chemical and thermal processes taking place in the converter. The catalytic converters design parameters were optimized considering the costs of their production and operation. The described dependences allows calculating the gas-dynamic resistance and pressure drop in the converter, considering its design parameters and changes in thermal and chemical processes in the reactor during operation.*

Keywords: *catalytic converter, gas dynamic resistance, model, catalyst, neutralization efficiency.*

For citation: *Kravchenko I.N., Erofeyev M.N., SHarko A.A., Martyshin A.A. Sovershenstvovaniye sistemy ochistki otrabotavshikh gazov dizel'nykh dvigateley avtotraktornoy tekhniki [Improvement of exhaust gases cleaning system for diesel*

engines of vehicles]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 29-38(In Russian).

Введение. Решение задачи повышения экологических показателей дизелей приводит к необходимости внедрения в отечественное двигателестроение различных методов снижения токсичности отработавших газов. Одним из таких методов служит разработка и установка различных систем снижения токсичности отработавших газов автотракторных двигателей, обеспечивающих заявленные экологические параметры и требования [1, 2].

Для обеспечения экологических требований автотракторной техники наиболее часто используемыми и достаточно хорошо освоенными в научном и промышленном плане стали каталитические нейтрализаторы, которые с помощью ускорителей реакции окисления (катализаторов) осуществляют дополнительную очистку отработавших газов от токсичных продуктов неполного сгорания топлива и паров масла путем дожигания [3, 4]. При этом в качестве катализаторов обычно выступают металлы платиновой группы (платина, родий, палладий). Иногда катализатор представляет собой мелкодисперсную смесь этих металлов с добавками окислов переходных металлов (меди, молибдена, цинка и других).

Применение каталитических нейтрализаторов имеет ряд особенностей, заключающихся в следующем [5, 6]:

- автотракторная техника почти полностью базируется на разнообразных дизельных двигателях и работает на удаленном расстоянии от станций технического обслуживания и сервисных центров;
- квалификация и уровень экологических знаний обслуживающего персонала и операторов машин находятся на крайне низком уровне;
- применяемые топливо-смазочные материалы далеко не всегда отвечают соответствующим стандартам и часто содержат нежелательные примеси.

Перечисленные особенности выдвигают соответствующие требования к конструкции и эксплуатации каталитических нейтрализаторов на шариковом носителе.

Цель исследования – совершенствование системы очистки отработавших газов силовой установки автотракторной техники за счет разработки математической модели расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов.

Материалы и методы. Оценка эффективности конверсии токсичных веществ в нетоксичные материалы. Основное назначение нейтрализатора заключается в осуществлении реакции конверсии CO и углеводородов до нейтральных углекислого газа и воды. Реакция конверсии происходит в обоих направлениях, поэтому количество выходных продуктов будет значительно зависеть от условий эксперимента. На положительное направление реакции сильно влияет температура. На приведенных S-образных кривых протекания реакций окисления CO и углеводородов показаны стандартные точки, по которым судят об эффективности нейтрализатора (*рис. 1*).

По температуре эта точка соответствует 350°C, при которой очистка от *CO* должна быть не менее 80%, а углеводородов – не менее 70%. Эта величина примерно одинакова для всех металлов платиновой группы, и приводится во всех технических характеристиках нейтрализаторов. Она сохраняется в течение всего срока эксплуатации при непременном условии использования стандартных топлив. С повышением температуры отработавших газов, то есть при повышении нагрузки на двигатель, эффективность нейтрализатора увеличивается, асимптотически приближаясь к 100% при температурах более 600°C [7, 8].

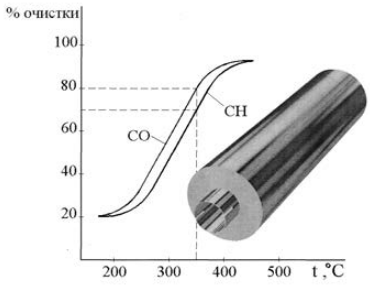


Рис. 1. S-образные кривые для CO и углеводородов

Разработка нейтрализатора начинается с определения потребного количества катализатора. В общем случае при заданном расходе топлива и сопротивлении слоя объем катализатора зависит от расхода и температуры отработавших газов, требуемой степени очистки и потери давления на каталитическом слое [9]. Данные величины связываются уравнениями Навье-Стокса с уравнением неразрывности струи и их взаимоотношениями с геометрическими параметрами нейтрализатора:

$$\begin{cases} u\dfrac{\partial u}{\partial x}+v\dfrac{\partial u}{\partial l}=-\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial x}+\upsilon\left(\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 u}{\partial l^2}+\dfrac{1}{l}\dfrac{\partial u}{\partial l}\right) \\ u\dfrac{\partial v}{\partial x}+v\dfrac{\partial v}{\partial l}=\dfrac{1}{\rho}\dfrac{\partial P}{\partial l}+\upsilon\left(\dfrac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2 v}{\partial l^2}+\dfrac{1}{l}\dfrac{\partial v}{\partial l}-\dfrac{v}{l^2}\right) \end{cases};$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(lu)+\frac{\partial}{\partial l}(lv)=0.$$

Введем непринципиальные допущения, позволяющие несколько упростить решение задачи. Будем считать, что у нас происходит такое движение газа, при котором продольная компонента скорости в каталитическом слое равна нулю, на границе твердых поверхностей составляющие скорости v и u обращаются в нуль при постоянном равенстве расходов газа. Катализатор будем представлять в виде мелкодисперсного порошка металлов платиновой группы (платина, родий, палладий). Они должны располагаться в порах носителя, желательно как можно ближе к наружной поверхности шарика, но с тем условием, чтобы порошок не сдувался с поверхности и мог выдерживать механические воздействия (тепловые деформации, вибрации и т.п.). Такое требование означает, что частичка катализатора должна быть заглублена в поры носителя. При этом часть активной поверхности катализатора не сможет контактировать с газом или будет работать менее активно.

Следует учесть, что часть катализатора будет заглублена так далеко, что вообще не будет участвовать в реакции. Количественное значение этих потерь неизвестно, так как они изменяются в зависимости от пористости носителя и величины дисперсности частичек катализатора, концентрации раствора солей этих металлов, в который окунается носитель.

Без количественного учета этих потерь катализатора придется увеличивать вычисленную величину на некоторую величину, которая по приблизительным оценкам может составлять 30%.

Будем также считать, что течение ламинарное, равномерное со скоростью примерно 30 м/с при постоянной температуре отработавших газов 350°С.

В данной работе содержится ориентировочное решение системы уравнений, которое можно записать в виде:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{0{,}41al}{Re_э^{0,35}}\right); \tag{1}$$

$$\Delta P_{сл} = \frac{G^2}{F^2\rho} \cdot \frac{al}{2\varepsilon^3} f_э; \tag{2}$$

$$f_э = \frac{36{,}4}{Re_э} + 0{,}45; \tag{3}$$

$$Re_э = \frac{4G}{F\mu a}, \tag{4}$$

где η – степень очистки отработавших газов;

α – удельная поверхность гранул катализатора;

l – толщина слоя катализатора;

$Re_э$ – эффективное число Рейнольдса;

$\Delta P_{сл}$ – перепад давления на слое катализатора;

G – массовый расход отработавших газов;

F – площадь реактора;

ρ– плотность;

ε– пористость слоя катализатора;

$f_э$ – коэффициент сопротивления;

μ – динамическая вязкость газа в уравнениях Навье-Стокса;

$\nu = \mu/\rho$ – коэффициент кинематической вязкости.

Преобразуя выражения (1) и (2) с учетом уравнений (3) и (4), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \eta = 1 - \exp\left[-\dfrac{0.41al}{(GL/F)^{0,35}}\right] \\ \Delta P_{сл} = \left(\dfrac{G}{F}\right)^2 \dfrac{Kl}{\left(\dfrac{36{,}4 \cdot F\mu a}{4 \cdot G} + 0{,}45\right)} \end{cases}, \tag{5}$$

где $K = a/2\rho\varepsilon^3$, $L = 4/\mu a$ – константы при постоянной температуре.

Левые части системы уравнений (5) известны, решив систему относительно F и l, и, перемножив полученные величины, найдем искомый объем катализатора. Для автомобиля КАМАЗ объем катализатора получается примерно в 12 л в зависимости от расхода отработавшего газа (для расчета принят расход, равный 700 м^3/ч) [10, 11]. При конструировании конкретного изделия объем катализатора, естественно, увеличивается.

В качестве катализатора будем использовать стандартный катализатор платиновой группы типа ШПК-1 (ТУ 6-09-5531-85), представляющий сфе-

рические гранулы диаметром приблизительно 3,5 мм из γ - оксида алюминия Al_2O_3 серого цвета. Содержание платины по весу составляет примерно 0,1%. Нейтрализатор подбирался из условия соответствия гидросопротивления при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя требованиям технического задания и ТУ 37.001.011-70.

Объемный расход воздуха $Q_в$, м^3/с, от двигателя КамАЗ-740 составит:

$$Q_в = \frac{\pi D^2 \times H \times z \times n \times 2\pi}{4 \times 60} \times \eta_v, \qquad (6)$$

где D, H – соответственно диаметр и ход поршня, м;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$;

z – количество цилиндров, шт.;

η_v – коэффициент наполнения.

Принимая во внимание необходимость эксплуатации автомобиля в разнообразных климатических зонах, усредненное значение коэффициента η_v = 0,85.

Определим для дизельных двигателей объемный расход воздуха $Q_в$:

Весовой расход воздуха $G_в$ составит:

$$Q_в = \frac{3{,}14 \times 0{,}12^2 \times 0{,}12 \times 8 \times 2200 \times 2 \times 3{,}14}{4 \times 60} \times 0{,}85 = 25.$$

$$G_в = \gamma \times Q_в, \qquad (7)$$

где γ – удельная плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м^3.

$\boldsymbol{G_в = 1{,}293 \times 25 = 32{,}33.}$

Согласно внешней скоростной характеристике двигателя КамАЗ-740.11 определим расход топлива $G_Т$ при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя n = 2200 мин$^{-1}$:

$\boldsymbol{G_T = 34}$ **кг/ч = 0,0094 кг/с.**

Общий весовой расход $G_{ог}$ отработавших газов:

$\boldsymbol{G_{ог} = G_в + G_T = 32{,}33 + 1 = 33{,}33.}$

Общий объемный расход $Q_{ог}$ отработавших газов:

$$Q_{ог} = \frac{G_{ог}}{\gamma} = \frac{33{,}33}{1{,}293} = 25{,}78 \ \boldsymbol{м^3/с.}$$

В соответствии с вычисленной величиной максимального расхода отработавших газов проверим ряд нейтрализаторов по условию не превышения гидросопротивления.

Оценка аэродинамического сопротивления нейтрализатора. Каталитический нейтрализатор должен иметь аэродинамическое сопротивление не выше шума выпуска глушителя, укомплектованного заводом-изготовителем. Таким образом, задача сводится к последовательному суммированию аэродинамических сопротивлений газового тракта нейтрализатора при каждом изменении вектора скорости потока по величине и (или) направлению.

При изотермическом состоянии (при скорости потока, например 60 м/с, газ будет «пробегать» выпускной тракт длиной в 1 м за 1/60 с, т.е. теплообменом со стенками при таких скоростях можно пренебречь) абсолютное количество энергии потока выражается формулой:

$$E = mv^2/2,$$

где m – масса движущегося газа; v – скорость газа.

Удельная энергия потока получается подстановкой в это уравнение плотности вместо массы, тогда:

$$E_0 = \rho v^2/2.$$

В аэродинамике эта величина называется динамическим скоростным давлением и выражает в численном значении энергию единицы объема движущегося газа. Если возникнет какое-нибудь местное сопротивление, то появится противодавление, которое можно выразить разницей давлений до сопротивления и после него ($p_1 - p_2$).

Тогда относительная величина потерь составит:

$$\zeta = \frac{p_1 - p_2}{p_2} \text{ или } \frac{p_1}{p_2} = \zeta + 1, \text{ или } p_1 = (\zeta + 1)p_2.$$

Пренебрегая влиянием отдельных камер друг на друга, общее сопротивление можно выразить как сумму отдельных сопротивлений:

$$\sum z = z_1 + z_2 + ... + z_n,$$

где $z_1 = \zeta_1 \frac{\rho_1 v_1^2}{2}; \; z_2 = \zeta_2 \frac{\rho_2 v_2^2}{2}; \; z_n = \zeta_n \frac{\rho_n v_n^2}{2}.$

Скорость движения потока отработавших газов на входе в нейтрализатор:

$$W = \frac{4Q \times \left(\frac{273 + t_{ог}}{293}\right)}{\pi D^2}, \tag{8}$$

где t – температура отработавших газов, °С;

D – диаметр входного патрубка нейтрализатора.

$$W = \frac{4 \times 0{,}28 \times \left(\frac{273 + 500}{293}\right)}{3{,}14 \times 0{,}075^2} = 174{,}5 \text{ м/с.}$$

Удельная плотность отработавших газов:

$$Q = Q_o \times \frac{293}{273 + 500}, \tag{9}$$

где Q_o – удельная плотность при нормальных условиях.

$$Q = 1{,}26 \times \frac{293}{273 + 500} = 0{,}46 \text{ кг/м}^3$$

Точное вычисление сопротивлений – достаточно сложный процесс, так как точное значение скоростей нам неизвестно, поэтому воспользуемся методом аналогий и интерполяций величин стандартных и типовых сопротивлений [12]. При таком расчете сопротивление нейтрализатора КамАЗ составляет не более 600 мм вод. ст. при максимальных расходах отработавшего газа. Эти параметры примерно соответствуют параметрам по сопротивлению глушителей шума выпуска, укомплектованных заводом-изготовителем. С учетом вышеизложенного принимаем величину коэффициента ги-

дросопротивления для предлагаемого нейтрализатора, равной $\xi = 0,179$.

Исходя из имеющихся данных, определяем величину газодинамического сопротивления:

$$\Delta p = \xi \times \frac{QW^2}{2} = 0,179 \times \frac{0,46 \times 174,5^2 \times 10}{2} = 12536\,\text{Па} = 12,536\ \text{кПа}.$$

Результаты и обсуждение. Полученная величина гидросопротивления выбранного нейтрализатора удовлетворяет требованиям ТУ 37.001.011-70. Проведенный расчет по подбору агрегата для нейтрализации вредных веществ отработавших газов двигателя КамАЗ-740, установленного на базе автомобиля КамАЗ, показывает целесообразность применения каталитического нейтрализатора.

Выводы. Разработанная математическая модель комплексно описывает газодинамические, химические и тепловые процессы, протекающие в нейтрализаторе. На основании предложенной модели проведена оптимизация конструктивных параметров каталитических нейтрализаторов с учетом затрат на их производство и эксплуатацию.

2. Полученные зависимости позволяют рассчитать газодинамическое сопротивление и перепад давления в нейтрализаторе с учетом его конструктивных параметров и изменения тепловых и химических процессов в реакторе при эксплуатации. Это дает возможность создать новые конструкции нейтрализаторов с минимальным газодинамическим сопротивлением.

Библиографический список

1. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н. Разработка комплексной системы снижения токсичности дизельных автопогрузчиков // Научно-технический сборник: Вып. 15. Балашиха: ВТУ при Спецстрое России. 2007. С. 116-119.

2. Медведев Г.В. Металлокерамические фильтры очистки токсичных газов: водный транспорт. М.: Берлин: Директ-Медиа. 2017. 247 с.

3. Батурин Н.В., Титов Д.Н., Медведев Г.В., Новоселов А.А., Грабовская Н.Н. Совершенствование конструкций дизелей и их экологические показатели // Ползуновский вестник. 2009. N1-2. С. 73-80.

4. Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н., Амелин С.С., Костюнин А.А., Лопухов А.А., Лешаков И.А. Совершенствование систем очистки отработавших газов двигателей строительных, дорожных, транспортных машин и оборудования // Отчет о НИР/НИОКР. Шифр «Нейтрализатор». Рег. №102. Балашиха: ВТУ при Спецстрое России. 2011. 124 с.

5. Каталитический нейтрализатор отработавших газов с регулируемым объемом реактора: патент 95747. Рос. Федерация. №2010110501/22 / Ерофеев М.Н., Варламов В.Н., Кравченко И.Н.; заявл. 22.03.2010; опубл. 10.07.2010. Бюл. N19.

6. Каталитический нейтрализатор отработавших газов с плоским реактором: патент 95748. Рос. Федерация. №2010110503/22 / Ерофеев М.Н., Варламов В.Н., Ивановский В.С.; заявл. 22.03.2010; опубл. 10.07.2010. Бюл. N19.

7. Лешаков И.А., Кравченко И.Н., Ерофеев М.Н. Математическая модель расчета основных параметров каталитических нейтрализаторов // Современные наукоемкие технологии. 2013. N5. С. 76-80.

8. Певнев Н.Г., Залознов А.В. Описание математической модели расчета времени нестационарного процесса нагрева каталитического нейтрализатора отработавших газов // Вестник СибАДИ. 2017. Вып. 4-5 (56-57). С. 25-36.

9. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н., Карцев С.В. Разработка каталитических нейтрализаторов для дорожно-строительной техники // Отчет о НИР/НИОКР. Шифр «Катализатор». Рег. N249. Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2005. 60 с.

10. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н. Универсальный силовой агрегат // Научно-технический сборник: Вып. 15. Балашиха: ВТУ при Спецстрое России. 2007. С. 110-113.

11. Варламов В.Н., Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н., Карцев С.В. Разработка конструкции топливной аппаратуры строительных и дорожных машин для использования альтернативных видов топлива // Отчет о НИР/НИОКР. Шифр «Аппаратура». Рег. N31. Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2009. 74 с.

12. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Изд-во «Книга по Требованию». 2012. 466 с.

References

1. Varlamov V.N., Erofeyev M.N. Razrabotka kompleksnoy sistemy snizheniya toksichnosti dizel'nykh avtopogruzchikov [Development of a comprehensive system to reduce the toxicity of diesel forklifts]. Nauchno-tekhnicheskiy sbornik: Iss. 15. Balashikha: VTU pri Spetsstroye Rossii. 2007. 116-119. (In Russian).

2. Medvedev G.V. Metallokeramicheskiye fil'try ochistki toksichnykh gazov: vodnyy transport [Metal-ceramic filters for cleaning toxic gases: water transport]. Moscow: Berlin: Direkt-Media. 2017. 247 (In Russian).

3. Baturin N.V., Titov D.N., Medvedev G.V., Novoselov A.A., Grabovskaya N.N. Sovershenstvovaniye konstruktsiy dizeley i ikh ekologicheskiye pokazateli [Improvement of diesel engine designs and their environmental impact] // Polzunovskiy vestnik. 2009. N1-2. 73-80 (In Russian).

4. Erofeyev M.N., Kravchenko I.N., Amelin S.S., Kostyunin A.A., Lopukhov A.A., Leshakov I.A. Sovershenstvovaniye sistem ochistki otrabotavshikh gazov dvigateley stroitel'nykh, dorozhnykh, transportnykh mashin i oborudovaniya [Improvement of exhaust gas treatment systems for engines of construction, road, transport machinery and equipment]. Otchet o NIR/NIOKR. Shifr «Neytralizator». [R&D report. Code "Converter".] Reg. №102. Balashikha: VTU pri Spetsstroye Rossii. 2011. 124 (In Russian).

5. Kataliticheskiy neytralizator otrabotavshikh gazov s reguliruyemym ob"yemom reaktora: patent 95747. [Exhaust gas catalytic converter with adjustable reactor volume] Russian Federation. №2010110501/22 / Erofeyev M.N., Varlamov V.N., Kravchenko I.N.; app. 22.03.2010; pub. 10.07.2010. Bul. N19.

6. Kataliticheskiy neytralizator otrabotavshikh gazov s ploskim reaktorom: patent 95748 [Catalytic converter of exhaust gases from the plasma reactor]. Russian Federation. №2010110503/22 / Erofeyev M.N., Varlamov V.N., Ivanovskiy V.S.; app. 22.03.2010; publ. 10.07.2010. Bul. N19.

7. Leshakov I.A., Kravchenko I.N., Erofeyev M.N. Matematicheskaya model' rascheta osnovnykh parametrov kataliticheskikh neytralizatorov [Mathematical model for calculation of basic parameters of catalytic converters]. Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii. 2013. N5. 76-80 (In Russian).

8. Pevnev N.G., Zaloznov A.V. Opisaniye matematicheskoy modeli rascheta vremeni nestatsionarnogo protsessa nagreva kataliticheskogo neytralizatora otrabotavshikh gazov [Description of mathematical model for calculation of time of unsteady heating process of catalytic converter of exhaust gases].Vestnik SibADI. 2017. Iss. 4-5 (56-57). 25-36 (In Russian).

9. Varlamov V.N., Erofeyev M.N., Kravchenko I.N., Kartsev S.V. Razrabotka kataliticheskikh neytralizatorov dlya dorozhno-stroitel'noy tekhniki [Development of catalytic converters for road construction equipment]. Otchet o NIR/NIOKR. Shifr

«Katalizator» [R&D report. Code “Catalyst”.]. Reg. N249. Balashikha: VTU pri Spetsstroye Rossii. 2005. 60 (In Russian).

10. Varlamov V.N., Erofeyev M.N. Universal’nyy silovoy agregat [Universal power unit] // Nauchno-tekhnicheskiy sbornik: Iss. 15. Balashikha: VTU pri Spetsstroye Rossii. 2007. 110-113 (In Russian).

11. Varlamov V.N., Erofeyev M.N., Kravchenko I.N., Kartsev S.V. Razrabotka konstruktsii toplivnoy apparatury stroitel’nykh i dorozhnykh mashin dlya ispol’zovaniya al’ternativnykh vidov topliva [Development of the design of fuel equipment for construction and road vehicles for the use of alternative fuels] // Otchet o NIR/NIOKR. SHifr «Apparatura» [R&D report. Code “Equipment”]. Reg. N31. Balashikha: VTU pri Spetsstroye Rossii. 2009. 74 (In Russian).

12. Idel’chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Handbook of hydraulic resistances]. Moscow: Izd-vo «Kniga po Trebovaniyu». 2012. 466 (In Russian).

УДК 631.358

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ И ИЗНОСА РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ВОДЯНЫХ НАСОСОВ

Диана Темурлановна Абдумуминова[1], аспирант;
Шукрилло Убайдулаевич Юлдашев[1], доктор технических наук, профессор;
Игорь Николаевич Кравченко[2], доктор технических наук, профессор;
Виктор Михайлович Корнеев[2], кандидат технических наук, доцент, e-mail: tsmo@rgau-msha.ru
[1]Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент, Узбекистан;
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. *При эксплуатации водяных насосов появляются микронеровности вала и изнашивается поверхность рабочего колеса. Возникает необходимость экспериментальной проверки влияния их износа на работоспособность насосов. (Цель исследования) Установить закономерности влияния микронеровностей и износа рабочего колеса на работоспособность водяных насосов путем экспериментальной проверки влияния их износа на работоспособность насосов, поскольку механический, кавитанционный, абразивный и другие виды износа связаны с высокими эксплуатационными затратами. (Материалы и методы) Выявили оптимальные корреляционные связи между параметрами рабочего колеса, описывающими его конструкцию. Получили адекватные математические многофакторные модели и определили по ним оптимальные соотношения параметров колес, обеспечивающие получение экстремальных значений исследуемых целевых функций в пределах выбранных ограничений. Отметили, что сочетание традиционно применяемых методов проектирования с оптимизационными позволяет создать рабочие колеса центробежных насосов с улучшенными энергетическими и антикавитационными показателями. (Результаты и обсуждение) Установили, что гидравлические потери определяются гидравлическим коэффициентом полезного действия, который зависит от совершенства формы проточной части насоса, качества ее выполнения и размеров агрегата. Его значение находится в пределах 0,85-0,95. Показали, что увеличение площади выхода на 11,7 процентов позволило при наивысшем значении коэффициента полезного действия увеличить подачу на 16,7 процентов при сохранении неизменными мощности и напора. (Выводы) Выбрали на основании теоретического анализа и экспериментальных данных антикавитационный (кавитационный запас) и энергетический (гидравлический коэффициент полезного действия рабочего колеса) критерии рабочего колеса, его геометрические и кинематические параметры, представленные в безразмерном виде для распространения методических основ работы на другие типы центробежных насосов. Выполнили по математическим моделям оптимизационный поиск соотно-*

шений параметров рабочего колеса, которые в пределах выбранных ограничений обеспечивают получение экстремальных значений целевых функций.

Ключевые слова: *рабочее колесо, вал, насос, износ, микронеровность, эффективность, кавитация, работоспособность.*

Для цитирования: *Абдумуминова Д.Т., Юлдашев Ш.У., Кравченко И.Н., Корнеев В.М. Исследование влияния микронеровностей и износа рабочего колеса на работоспособность водяных насосов // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 39-47.*

INFLUENCE OF MICRO-ROUGHNESS AND THE WEAR OF THE DRIVING WHEEL ON THE OPERATION OF WATER PUMPS

Diana T. Abdumuminova[1], postgraduate student;
Shukrillo U. Yuldashev[1], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Igor N. Kravchenko[2], Dr.Sc.(Eng.), professor,;
Viktor M. Korneev[2], Ph.D.(Eng.), associate professor.
[1] Tashkent Institute of Irrigation and Farm Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan;
[2] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *When water pumps operating, there are appears micro-roughness of the shaft and the surface of the impeller wears out. There is a need for experimental verification of the impact of their wear on the performance of pumps. (Research purpose) The research purpose is establishing the influence of micro-roughness and impeller wear on the performance of water pumps by experimentally checking the effect of their wear on the performance of pumps, since mechanical, cavitation, abrasive and other types of wear are associated with high operating costs. (Materials and methods) The authors have revealed optimal correlation between the parameters of the impeller describing its design. The article describes revealed adequate mathematical multivariate models and optimal ratios of wheel parameters based on them, which provide obtaining extreme values of the studied target functions within the limits of the selected constraints. The article notes that the combination of traditionally applied design methods with optimization allows creation impellers of centrifugal pumps with improved energy and anti-cavitation indicators. (Results and discussion) The authors revealed that hydraulic losses are determined by hydraulic efficiency, which depends on the perfection of the shape of the pump flow part, quality of its implementation and the size of the unit. The value of hydraulic efficiency is in the range of 0.85-0.95. The article shows that increasing the output cross-section by 11,7 percent allows increase in the water flow by 16,7 percent preserving the power and pressure at the maximal efficiency. (Conclusion) On the basis of theoretical analysis and experimental data, the anti-cavitation (cavitation reserve) and energy (hydraulic efficiency of the impeller) criteria of the impeller, its geometric and kinematic parameters, presented in dimensionless form, were chosen to extend the methodological foundations of other work on centrifugal pumps. Using mathematical models, we have performed an optimization search for the relations of the impeller parameters, which, within the limits of the selected*

constraints, provide obtaining the extreme values of the target functions.
Keywords: *impeller, shaft, pump, wear, micro-roughness, efficiency, cavitation, working capacity.*

For citation: *Abdumuminova D.T., Yuldashev Sh.U., Kravchenko I.N., Korneyev V.M. Issledovanie vliyaniya mikronerovnostey i iznosa rabochego kolesa na rabotosposobnost' vodyanykh nasosov [Influence of micro-roughness and the wear of the driving wheel on the operation of water pumps]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 39-47(In Russian).*

Введение. Ведущую роль среди деталей насосов занимает рабочее колесо. Его основное назначение состоит в передаче энергии от вращающегося вала к жидкости. Проблемы обеспечения надежности водяных насосов становятся актуальными, поскольку старение запасных частей опережает темпы необходимого технического перевооружения [1-3]. Существует много задач по перекачиванию различных жидкостей, например: чистая вода, дренажные сточные воды, фекальные воды, воды с большим содержанием примесей небольшого размера (1-3 мм), шламовые воды с большим содержанием крупных частиц (до 20-30 мм), воды с содержанием длинноволокнистых включений, жидкости с большим содержанием абразива, различные нефтепродукты, химически активные жидкости. Поэтому для решения каждой частной задачи существует свое оптимальное решение, а именно рабочее колесо определенного вида, позволяющее работать насосу с максимальным КПД. По форм-фактору центробежные рабочие колеса делятся на две группы: рабочие колеса открытого типа и рабочие колеса закрытого типа, каждые из которых, в свою очередь, могут иметь различное количество лопастей (*рис. 1*).

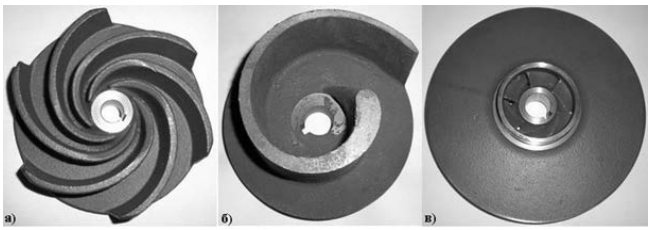


Рис. 1. Виды колес водяных насосов:
а – открытое; б – полузакрытое; в – закрытое

Цель исследования – установить закономерности влияния микронеровностей и износа рабочего колеса на работоспособность водяных насосов путем экспериментальной проверки влияния их износа на работоспособность насосов, поскольку механический, кавитанционный, абразивный и другие виды износа связаны с высокими эксплуатационными затратами.

Колеса закрытого типа называются так потому, что лопатки у них закрыты диском с обеих сторон. Такие колеса имеют максимальный КПД и максимальный напор. Но они не подходят для работы с жидкостями, которые содержат длинные волокна (они наматываются на колесо и забивают его) и для жидкостей, имеющих крупные включения, из-за опасности их застревания в узком внутреннем проходе колеса.

Колеса открытого типа имеют открытые лопатки с одной стороны (существуют колеса, которые имеют только лопатки, не закрытые диском с

обеих сторон, но это редкость). Колеса этого типа обладают более низким КПД, но зато позволяют перекачивать жидкости с волокнистыми включениями и жидкости с крупными частицами. Отрытые колеса в подавляющем большинстве – литые; отливаются в специальную форму методами точного литья. В этом случае колеса получаются с проточной частью высокой точности и чистоты поверхности. Рабочие колеса отрытого типа применяют для перекачивания загрязненных и/или густых жидкостей. Конструкция такого колеса несет в себе как плюсы, а именно: большой срок эксплуатации и высокий уровень износостойкости, способность эффективно очищаться от разного рода засорений, так и минусы – сравнительно невысокий КПД, в среднем порядка 40%. В закрытом рабочем колесе к основному диску с отлитыми или профрезерованными лопастями подгоняют и приваривают покрывающий диск. Конструкция закрытого типа характеризуется высоким значением КПД, что делает насосы с такими колесами очень востребованными. Насосы, оборудованные колесами данного типа, применяют как для перекачивания чистых жидкостей, так и для перекачивания незначительно загрязненных сред. Удельное приращение энергии потока жидкости зависит от сочетания скоростей протекания потока, скорости вращения крыльчатки водяного насоса, диаметра рабочего колеса и его формы, т.е. от сочетания конструкции, размеров и числа оборотов. При работе насоса колесом создается центробежная сила, которая буквально выталкивает жидкость из рабочей камеры насоса в трубопровод (*рис. 2)*.

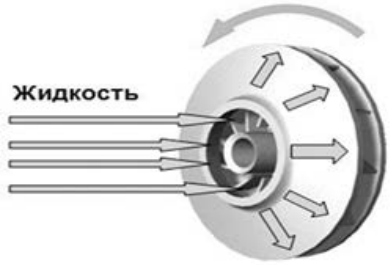


Рис. 2. Направления потока жидкости в рабочем колесе

Если рассматривать принцип работы более подробно, то цикл будет выглядеть следующим образом. В начале цикла рабочая камера насоса заполнена жидкостью (перекачиваемой средой). С началом вращения вала насоса после пуска электродвигателя начинает вращаться рабочее колесо, закрепленное на валу. В рабочей полости создается давление, обусловленное появлением центробежной силы. Под действием центробежной силы жидкость перемещается от центра колеса к стенкам камеры. Увеличивающееся давление выталкивает жидкость в нагнетательный канал трубопровода. В центре крыльчатки насоса давление падает, что способствует всасыванию новой порции жидкости в рабочую камеру. Рабочая точка – это точка пересечения графика характеристики насоса с графиком характеристики гидросистемы. Любые изменения в гидросистеме, например, изменение проходного сечения клапана при его открытии или образование отложений в трубопроводе, сказываются на характеристиках гидросистемы, в результате чего положение рабочей точки изменяется. Аналогичным образом изменения в насосе, например, износ рабочего колеса или изменение частоты вращения, вызовут возникновение новой рабочей точки (*рис. 3)*.

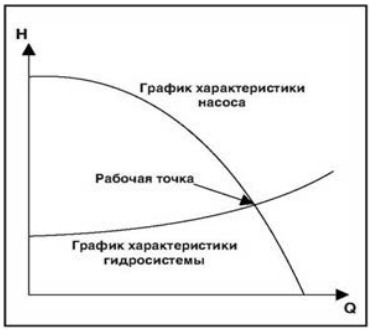


Рис. 3. Рабочая точка насоса

Проточную часть рабочего колеса центробежного насоса определяют гидродинамическим расчетом. Рабочее колесо насоса подвержено действию значительных сил реакции потока, действию центробежных сил и в случае посадки на вал с натягом – действию сил в месте посадки [4, 5]. Засорение рабочего колеса приводит к уменьшению напора. В некоторых случаях это может привести к разрыву сплошности потока на стороне всасывания насоса. Закупоривание рабочего колеса можно предотвратить установкой во всасывающем трубопроводе защитных сеток, решеток, грубых и гравийных фильтров. Если при использовании насоса, несмотря на правильное его заполнение, не будет достигнута гарантированная подача, то вполне возможно, что не совпадает общая высота напора с параметрами насоса. Это можно проверить при помощи манометров или вакуумметров, установленных на всасывающем и напорном патрубках.

Если по показаниям приборов преодолеваемая высота напора больше, чем напор насоса, то необходимо увеличить, если возможно, частоту вращения или установить более крупное рабочее колесо. Коррозия металлов в воде или водных растворах имеет электрохимический характер. Этот процесс возникает из-за разности потенциалов, т.е. при наличии так называемой гальванической пары. Возникновение гальванической пары происходит при погружении двух или нескольких различных металлов (макропары) или при наличии структурной неоднородности металла (микропары). Разные составляющие как в микропарах, так и в макропарах имеют разные электродные потенциалы, вследствие чего возникает электрический ток. Составляющие, имеющие более положительный потенциал, называют катодами, более отрицательный – анодами. Разрушение металла рабочего колеса насоса происходит на анодных участках из-за перехода ионов (электрически заряженных частиц) из металла в рабочую среду насоса. Освободившиеся электроны перетекают по металлу от анодных к катодным участкам и разряжаются на них.

Таким образом коррозия – это совокупность двух процессов: анодный процесс (переход ионов из металла в раствор) и катодный процесс (разрядка электронов). Кавитация возникает в результате местного снижения давления в жидкости. Процесс кавитации представляет собой парообразование с последующим схлопыванием пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости. В результате этих многочисленных всхлопываний (микроскопических взрывов), возникают скачки давления, которые могут повредить рабочее колесо насоса и даже привести в поломке всей гидравлической системы.

Характерным признаком кавитации является повышенный шум при эксплуатации насосного агрегата. Сухой ход характеризуется работой насоса при отсутствии жидкости на входе. При работе без движения жидкости, из-за трения и отсутствия охлаждения происходит нагрев и закипание жидкости в рабочей камере насоса. Такие явления приводят к деформации рабочего колеса, а затем к его полному разрушению. Если преодолеваемая высота напора меньше, то по характеристике центробежных насосов (кроме пропеллерных) происходит увеличение подачи и мощности на валу насоса. Именно в этом случае возникает опасность перегрузки приводного двигателя. Источник этого несоответствия можно устранить, уменьшив режим работы при помощи задвижки на напорном трубопроводе. Особое внимание следует обращать на соответствие направления вращения вала насоса заданному. Неправильное направление вращения приводит к неисправностям насоса в результате ослабления затяжки рабочего колеса или гайки на валу, а это в свою очередь вызывает повреждение элементов корпуса насоса. Данное явление приводит также к заклиниванию вала насоса.

Материалы и методы. Для обточки рабочего колеса в процессе эксплуатации приходится приспосабливать характеристики насосов к конкретным условиям. Для этого наиболее часто уменьшают наружный диаметр рабочего колеса D путем подрезки. Изменение параметров насоса при подрезке рабочих колес для центробежных насосов приближенно можно определить по уравнениям подобия [6]:

$$Q' = Q\left(\frac{D'}{D}\right); \tag{1}$$

$$H' = H\left(\frac{D'}{D}\right); \tag{2}$$

$$N' = N\left(\frac{D'}{D}\right) \tag{3}$$

где Q, H, D – номинальные подача, напор, наружный диаметр рабочего колеса до обрезки;

Q', H', D' – то же после обрезки.

Рабочая точка – это точка пересечения графика характеристики насоса с графиком характеристики гидросистемы. Любые изменения в гидросистеме, например, изменение проходного сечения клапана при его открытии или образование отложений в трубопроводе, сказываются на характеристиках гидросистемы, в результате чего положение рабочей точки изменяется. Аналогичным образом изменения в насосе, например, износ рабочего колеса или изменение частоты вращения, вызовут возникновение новой рабочей точки. Уменьшить подачу осевого насоса можно также путем замены рабочего колеса другим колесом с теми же лопатками и увеличенным диаметром втулки. Пересчет напорной характеристики насоса производится по формулам:

$$Q' = Q\frac{D' - d'}{D - d}; \tag{4}$$

$$H' = H, \tag{5}$$

где d' – увеличенный диаметр втулки;

d – диаметр втулки до обрезки.

Обрезку рабочего колеса центробежных насосов также можно производить по ширине. В этом случае напор также сохраняется постоянным, а подача снижается пропорционально уменьшению ширины лопатки. Практическая целесообразность такой обрезки заключается в том, что появляется возможность без изменения проточной части насоса повысить его напор на 5-8% при почти неизменном КПД. Выходная кромка рабочего колеса стачивается по длине, тем самым увеличивается выходная площадь каналов рабочего колеса по периферии [7, 8].

Влияние монтажа насоса на рабочее колесо. Способ монтажа насоса непосредственно влияет на сроки безотказной работы насоса и на его ресурс в целом. Подробнее о всех нюансах монтажа описано в статье о напоре насоса. На срок службы рабочего колеса влияют:

- диаметр всасывающего участка трубопровода меньше диаметра всасывающего патрубка насоса;
- уклон в сторону от всасывания насоса или провисание горизонтального участка трубопровода со стороны всасывания;
- большое число поворотов и изгибов трубопровода.

Расчет ведется по заданным значениям подачи Q, напора H и числа оборотов n с целью определения проточной части, диаметра и размеров рабочего колеса.

Расчет остальных элементов проточной части насоса (подвода и отвода потока) выполняют с целью обеспечить условия, принятые при предыдущем расчете. Задание для расчета рабочего колеса определяют по данным для насоса в целом на основании принятой схемы насоса.

Подача колеса:

$$Q_1 = Q/K, \quad (6)$$

где K – число потоков в насосе.

Напор колеса:

$$H_1 = H/i \quad (7)$$

где i – число ступеней в насосе (если колес несколько).

В расчете необходимо учитывать потери. При этом расчетная подача Q будет больше Q_1 на величину объемных потерь, значение которых определяется объемным КПД. Величина объемного КПД обычно находится в пределах 0,85-0,95, причем большие значения относятся к насосам с большим коэффициентом быстроходности.

Аналогично дела обстоят и для напора. Гидравлические потери определяются гидравлическим КПД, который зависит от совершенства формы проточной части насоса, качества ее выполнения и размеров агрегата. Значение гидравлического КПД находится в пределах 0,85-0,95.

Результаты и обсуждение. При определении диаметра рабочего колеса и выполнении расчета вначале определяют основные размеры канала и угла лопаток на входе и выходе, а затем профилируют канал в меридианном сечении и контур лопаток. Работы с выполнением расчета относятся к высокоточным, от этого зависит рабочая характеристика, и каждая ошибка несет за собой большие финансовые потери при серийном изготовлении. Поэтому такие работы должны выполняться только силами профильных расчетных организаций.

Проведенные эксперименты показали, что увеличение площади выхода на 11,7% позволило при наивысшем значении КПД увеличить подачу на 16,7% при сохранении неизменными мощности и напора [9].

Выводы. На основании теоретического анализа и экспериментальных данных выбраны антикавитационный (кавитационный запас) и энергетический (гидравлический КПД рабочего колеса) критерии рабочего колеса и его геометрические и кинематические параметры, представленные в безразмерном виде для распространения методических основ работы на другие типы центробежных насосов в рамках исследуемого диапазона быстроходностей.

Получены математические модели, адекватно описывающие в пределах выбранных ограничений связь исследуемых критериев с геометрическими и кинематическими параметрами рабочего колеса, определяющие его конструкцию. По математическим моделям выполнен оптимизационный поиск соотношений параметров рабочего колеса, которые в пределах выбранных ограничений обеспечивают получение экстремальных значений целевых функций.

Библиографический список

1. Лялякин В.П. Восстановление деталей – важный резерв экономии ресурсов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2011. N2 (29). С. 95-96.

2. Корнеев В.М., Новиков В.С. Кравченко И.Н. Технология ремонта машин. М.: ИНФРА-М. 2017. 314 с.

3. Лялякин В.П. Восстановление деталей машин – важнейшее направление импортозамещения в агропромышленном комплексе // Инновационные технологии реновации в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции. М.: Изд-во МГОУ. 2019. С. 12-16.

4. Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. Москва-Челябинск: ГОСНИТИ-ЧГАУ. 2003. 992 с.

5. Йулдошева З.Д. Абдумуминова Д.Т. Показатели надежности и адгезионной прочности при восстановлении деталей водяных насосов // Сборник материалов семинара молодых ученных XXII международной научной конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Ташкент. 2019. 445 с.

6. Зубрилина Е.М., Зубенко Е.В., Кравченко И.Н. Термодинамическое упрочнение сварных и наплавленных изделий сельскохозяйственного машиностроения. Ставрополь: Изд-во АГРУС. 2012. 392 с.

7. Пейсахов А.М., Кучер А.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. М.: Издательство Михайлова В.А. 2005. 25 с.

8. Пантух М.Л., Зубенко Е.В., Кравченко И.Н. Технология конструкционных материалов. Материаловедение. Ставрополь: Изд-во АГРУС. 2014. 312 с.

9. Юлдашев Ш.У., Абдумуминова Д.Т. Модернизация технологии восстановления вала центробежного водяного насоса // Журнал «Irrigatsiya va Melioratsiya». Ташкент. 2018. N2(12). С. 48-51.

References

1. Lyalyakin V.P. Vosstanovleniye detaley – vazhnyy rezerv ekonomii resursov [Reparing parts as an important resource-saving reserve]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. N2 (29). 95-96 (In Russian).

2. Korneyev V.M., Novikov V.S. Kravchenko I.N. Tekhnologiya remonta mashin [The technology of machine repair]. Moscow: INFRA-M. 2017. 314 (In Russian).

3. Lyalyakin V.P. Vosstanovleniye detaley mashin – vazhneysheye napravleniye importozameshcheniya v agropromyshlennom komplekse [Restoration of machine

parts as the most important direction of import substitution in the agro-industrial complex]. Innovatsionnyye tekhnologii renovatsii v mashinostroyenii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: Izd-vo MGOU. 2019. 12-16 (In Russian).

4. Chernoivanov V.I., Blednykh V.V., Severnyy A.E. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont mashin v sel'skom khozyaystve [Maintenance and repair of machinery in agriculture]. Moskva-Chelyabinsk: GOSNITI-CHGAU. 2003. 992 (In Russian).

5. Yuldosheva Z.D. Abdumuminova D.T. Pokazateli nadezhnosti i adgezionnoy prochnosti pri vosstanovlenii detaley vodyanykh nasosov [Indicators of reliability and adhesive strength in the restoration of parts of water pumps]. Sbornik materialov seminara molodykh uchennykh XXII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Stroitel'stvo – formirovaniye sredy zhiznedeyatel'nosti». Tashkent. 2019. 445 (In Russian).

6. Zubrilina E.M., Zubenko E.V., Kravchenko I.N. Termodinamicheskoye uprochneniye svarnykh i naplavlennykh izdeliy sel'skokhozyaystvennogo mashinostroyeniya [Thermodynamic hardening of welded and surfaced products of agricultural machinery]. Stavropol': Izd-vo AGRUS. 2012. 392 (In Russian).

7. Peysakhov A.M., Kucher A.M. Materialovedeniye i tekhnologiya konstruktsionnykh materialov [Materials science and technology of structural materials]. Moscow: Izdatel'stvo Mikhaylova V.A. 2005. 25 (In Russian).

8. Pantukh M.L., Zubenko E.V., Kravchenko I.N. Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov [Technology of structural materials. Materials science]. Materialovedeniye. Stavropol': Izd-vo AGRUS. 2014. 312 (In Russian).

9. Yuldashev Sh.U., Abdumuminova D.T. Modernizatsiya tekhnologii vosstanovleniya vala tsentrobezhnogo vodyanogo nasosa [Modernization of centrifugal water pump shaft recovery technology]. Zhurnal «Irrigatsiya va Melioratsiya». Tashkent. 2018. N2(12). 48-51 (In Russian).

УДК 631.3:631.4:006.057

НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ ХОДОВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ПОЧВУ

Захид Адыгезалович Годжаев, доктор технических наук, профессор;
Александр Вадимович Русанов, старший консультант;
Вера Александровна Казакова, младший научный сотрудник;
Валентина Алексеевна Шинкевич,
ведущий инженер, e-mail: lab-stand@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Пересмотр стандартов ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву», ГОСТ 26954-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве» и ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву», устанавливающих требования и методы оценки воздействия движителей ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву, становится актуальной задачей совершенствования данных нормативных документов с введением новых методов экспериментально-теоретических исследований в области экологической защиты земель сельскохозяйственного назначения от переуплотнения ходовыми системами сельскохозяйственной техники. (Цель исследования) Привести разрабатываемые стандарты к соответствию современным положениям межгосударственных стандартов по снижению воздействия движителей ходовых систем сельхозтехники на почву за счет оптимизации требований к современным методам оценки допустимого уровня воздействия на почву, а также положениям о требованиях экологической безопасности земель сельскохозяйственного назначения от переуплотнения почвы сельхозтехникой. (Материалы и методы) Установили, что важный этап работы – экспертиза проектов стандартов специалистами инженерной службы АПК и сельскохозяйственного машиностроения и детальный анализ полученных замечаний и предложений для окончательной редакции проектов стандартов. Разослали проекты стандартов на отзывы специалистам в области сельскохозяйственного машиностроения и заинтересованным организациям, предприятиям РФ, а также заинтересованным организациям в страны ближнего зарубежья. (Результаты и обсуждение) Обсудили полученные замечания и предложения; подготовили окончательные редакции проектов стандартов, изучили сводки отзывов организаций РФ и стран-участников Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества независимых государств. Направили проекты окончательного варианта изменений к стандартам на редактирование и утверждение в Росстандарт. (Выводы) Обновленные стандарты позволят учитывать современный уровень развития ходовых систем сельскохозяйственной техники и современные методы определения давления движителей на почву. Внедрение стандартов позволит производителям сельхозтехники находить оптимальные соотношения между весом сельхозмашин и их производительностью.*

Ключевые слова: *движители, ходовые системы сельскохозяйственной техники, нормативы допустимых давлений на почву, методы оценки воздействия движителей на почву, стандарт.*

Для цитирования: *Годжаев З.А., Русанов А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А. Новые требования к методам оценки воздействия движителей ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 48-57.*

NEW REQUIREMENTS FOR METHODS OF ASSESSING THE IMPACT OF MOVING SYSTEMS OF AGRICULTURAL MACHINERY ON THE SOIL

Zakhid A. Godzhayev, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Aleksandr V. Rusanov, chief consultant;
Vera A. Kazakova, junior researcher;
Valentina A. Shinkevich, leading engineer
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Revision of GOST 26953-86 "Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of movers on the soil" standard, GOST 26954-86 "Mobile agricultural machinery. Method for determining the maximum normal stress in the soil" standard and GOST 26955-86 "Mobile agricultural Machinery. Norms of impact of movers on the soil" standard, establishing requirements and methods for assessing the impact of movers of running systems of agricultural machinery on the soil, it becomes an urgent task of improving these regulations with the introduction of new methods of experimental and theoretical research in the field of environmental protection of agricultural land from re-densification by running systems of agricultural machinery. (Research purpose) The research purpose is to bring standards to the compliance with current provisions of the interstate standards to reduce the impact of undercarriage moving systems of agricultural machinery on soil due to the optimization requirements for modern assessment practices of the acceptable level of impacts on soil, as well as provisions on the requirements of environmental safety of agricultural land from the compaction of soil by agricultural equipment. (Materials and methods) It was found that an important stage of work is the examination of draft standards by specialists of the engineering service of agriculture and agricultural engineering and a detailed analysis of the comments and proposals received for the final revision of draft standards. We have sent the draft standards for feedback to specialists in the field of agricultural engineering and interested organizations, enterprises of the Russian Federation, as well as interested organizations in the CIS countries. (Results and discussion) The authors have discussed the comments and suggestions received; prepared the final drafts of the draft standards, studied the summaries of feedback from organizations of the Russian Federation and member countries of the Interstate Council for standardization, Metrology and certification of the Commonwealth of Independent States. Authors have sent drafts of the final version of changes to the standards for editing and approval to Rosstandart. (Conclusion) The updated standards will take into account the current level of development of running systems of agricultural machinery and modern methods of determining the pressure of propellers on the soil. The introduction of standards will allow manufacturers of*

agricultural machinery to find the optimal ratio between the weight of agricultural machines and their performance.

Keywords: *movers, running systems of agricultural machinery, standards of permissible pressures on the soil, methods of assessing the impact of movers on the soil, standard.*

For citation: *Godzhayev Z.A., Rusanov A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Novyye trebovaniya k metodam otsenki vozdeystviya dvizhiteley khodovykh sistem sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu [New requirements for methods of assessing the impact of moving systems of agricultural machinery on the soil]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 48-57 (In Russian).*

Введение. Изучение процессов, происходящих в почве при воздействии на нее ходовых систем сельскохозяйственной техники является актуальной задачей земледельческой механики [1].

Пересмотр стандартов ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву», ГОСТ 26954-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве» и ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву» был предусмотрен в программе национальной стандартизации Росстандарта России и выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 1.2-2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены» и ГОСТ 1.5-2001 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению» [2, 3]. Разработку межгосударственных стандартов проводили на конкурсной основе с бюджетным финансированием. С развитием сельхозтехники и сельхозтехнологий ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86 и ГОСТ 26955-86 (разработанные в свое время специалистами ВИМ), перестали в полной мере отвечать современному уровню развития ходовых систем сельскохозяйственной техники, современным методам определения давления движителей на почву, расчетно-экспериментальной оценке максимального давления на почву и, как следствие, требовали пересмотра [1-4].

Цель исследования – привести разрабатываемые стандарты к соответствию современным положениям межгосударственных стандартов по снижению воздействия движителей ходовых систем сельхозтехники на почву за счет оптимизации требований к современным методам оценки допустимого уровня воздействия на почву, а также положениям о требованиях экологической безопасности земель сельскохозяйственного назначения от переуплотнения почвы сельхозтехникой.

Исследование механизма деформации дает возможность создать модели напряженно-деформированного состояния почвы и взаимодействия почвы с рабочим органом, что позволит совершенствовать расчетные схемы, характеристики и методы оценки допустимого уровня воздействия на почву движителей почвообрабатывающей техники и выбор оптимальной современной конструкции прицепных движителей для тракторов и комбайнов [5-9].

За последние 10-15 лет движители сельскохозяйственной техники кон-

структивно изменились. Широкое распространение получило использование пневмоколесных движителей низкого и сверхнизкого внутришинного давления, а также широкопрофильных шин. Конструкции гусеничных и полугусеничных движителей также усовершенствовали, на смену металлическим гусеницам пришли резиноармированные, или вместо колеса устанавливают гусеницы-треки треугольного обвода (РАГ) (*рис. 1*).

Рис. 1. Сменный гусеничный движитель грузоподъемностью 40 кН для автомобиля КАМАЗ (4х4) полной массой 160кН

Преимущество такого конструкторского решения заключается в улучшении проходимости машины на переувлажненных полях за счет увеличения площади опорной поверхности движителя и в возможности работать как в ранневесенний период, так и в сезон дождей и поздней осенью. На основании проведенных экспериментальных исследований выявили оптимальные диапазоны физических показателей различных разновидностей почв, применительных для определенных конструкций движителей ходовых систем сельхозтехники. В результате проведенных исследований установили, что оптимальное снижение давления на почву наблюдается при использовании треугольных резиноармированных полугусеничных движителей. Такая конструкция движителя по сравнению с колесным позволяет в 2,5-3 раза уменьшить давление на почву, снизить буксование, увеличив при этом тягово-сцепные свойства трактора или комбайна до 1,5 раз. Разработка и освоение сменных треугольных РАГ – одно из важнейших направлений в создании экологически безопасных и всесезонных мобильных энергосредств [5-9]. Цель разработки (пересмотра) стандартов – внесение дополнений и изменений, а также положений, устанавливающих требования и методы оценки воздействия движителей ходовых систем сельскохозяйственной техники по снижению их воздействия на почву за счет оптимизации требований к методам оценки допустимого уровня давления и внедрения новых экспериментально-теоретических методов определения максимального давления движителей на почву.

Материалы и методы. Важный этап этой работы – проведение экспертизы проектов стандартов специалистами инженерной службы АПК и сельскохозяйственного машиностроения, а также детальный анализ полученных замечаний и предложений по первой и окончательной редакции проектов стандартов. В соответствии с требованиями ГОСТ 1.2-2015 проекты стандартов были разосланы на отзывы специалистам в области сельскохозяйственного машиностроения и заинтересованным организациям и предприятиям РФ, а также организациям государств-членов МГС (Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации Содружества независимых государств).

Результаты и обсуждение. С учетом полученных отзывов на первую и окончательную редакции проектов стандартов внесли изменения и допол-

нения в тексты стандартов, проекты представили к утверждению в Росстандарт. В ходе публичного обсуждения по проекту ГОСТ 26953 получили 29 замечаний и предложений от заинтересованных организаций РФ (ДальНИИМЭСХ, Армавирской опытной станции – филиала ВНИИМК и других) и заинтересованных государств-членов МГС (большинство из которых редакционного характера – приняты).

При пересмотре ГОСТ 26953-86 внесли следующие изменения и дополнения.

Во-первых, добавили новые термины с соответствующими определениями в разделы:

«3.2. Максимальное нормальное давление: максимальное давление в контакте единичного колесного или единичного гусеничного движителя с опорным основанием, нормальное (перпендикулярное) к опорной поверхности движителя»;

«3.3. Опорное основание: объемный массив, по поверхности которого посредством единичных движителей, объединенных в ходовую систему (шасси, ходовой аппарат) перемещается мобильная техника»;

«3.4. Контурная площадь контакта: площадь, ограниченная внешней огибающей участков контакта, образованных наружными поверхностями выступов рисунка протектора с опорной поверхностью».

Во-вторых, разработали и внесли в проект стандарта новый экспериментально-расчетный метод оценки максимального нормального давления колесного движителя на почву с использованием универсальной характеристики шины сельскохозяйственных машин (рис. 2) [5-10].

В-третьих, проект стандарта дополнен справочными и рекомендуемыми приложениями: Определение контурной площади пятна контакта протектора шины трактора; Схема деформации пневматической шины колеса при статических испытаниях; Пример расчета максимального нормального давления при помощи универсальной характеристики шины.

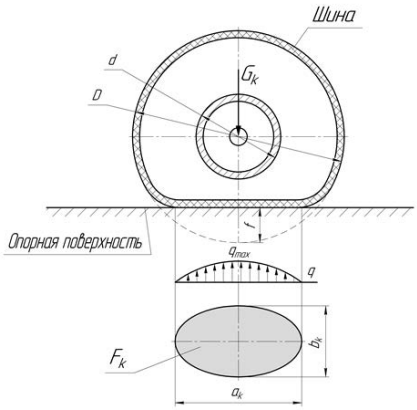


Рис. 2. Схема деформации пневматической шины колеса при статических испытаниях: f – нормальный прогиб шины, м; D – наружный диаметр шины, м; d – посадочный диаметр обода, м; $b_к$ – ширина пятна контакта, м; $a_к$ – длина пятна контакта, м; $F_к$ – контурная площадь контакта, м^2; qk_{max} – максимальное нормальное давление, кПа; $G_к$ – статическая вертикальная нагрузка на колесо, кН

Сущность экспериментально-расчетного метода оценки максимального нормального давления колесного движителя на почву с использованием универсальной характеристики шины

В соответствии с предлагаемым методом рассматривается изменение максимального нормального давления на почву q_{max} в зависимости от контурной площади пятна контакта $F_к$, размеры которого определяются вертикальной нагрузкой $G_к$ и внутришинным давлением воздуха p_w.

Максимальное нормальное давление вычисляют по формуле:

$$q_{max} = \frac{\kappa_2 G_\kappa}{\kappa_1 F_\kappa}, \quad (1)$$

где K_2 = 1,5 – коэффициент продольной неравномерности распределения давления;

$G_к$ – статическая вертикальная нагрузка на опорное основание от единичного колесного движителя, кН;

K_1 – коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса;

$F_к$ – контурная площадь пятна контакта протектора шины, м^2.

K_1 определяют по таблице.

Таблица

Коэффициент K_1, зависящий от наружного диаметра шины колеса

Наружный диаметр шины, мм	K_1
До 600 включ.	1,60
Св. 600 до 800 включ.	1,40
Св. 800 до 1000 включ.	1,30
Св. 1000 до 1200 включ.	1,20
Св. 1200 до 1500 включ.	1,15
Св. 1500	1,10

Основные параметры для расчета представлены на схеме деформации пневматической шины колеса при статических испытаниях (*рис. 2*).

Связь для конкретной шины между нормальным прогибом шины f и контурной площадью пятна контакта $F_к$ рассчитывается по формулам:

$$F_\kappa = \frac{\pi}{4} a_\kappa b_\kappa, \quad (2)$$

где $a_\kappa = c_3\sqrt{f(D-f)}$:

$$b_\kappa = 2\sqrt{f(2R_{пр} - f)}$$

$$R_{пр} = \frac{(B+H)}{2{,}5};\ H = \frac{(D-d)}{2};\ C_3 = \frac{20{,}5}{11{,}9 + \left[\frac{D}{B} - \frac{|n-9|}{2} - 3\right]},$$

где B и H – ширина и высота профиля шины, м;

D – наружный диаметр шины, м;

d – посадочный диаметр обода, м;

n – норма слойности.

Установить связь между статической вертикальной нагрузкой $G_к$, нормальным прогибом шины f и давлением воздуха p_w внутри шины позволяет универсальная характеристика шины, представленная формулой:

$$G_к = \frac{f^2}{C_1 + \frac{C_2 f}{P_w + P_0}} \quad (3)$$

где $G_к$ – статическая вертикальная нагрузка на колесо, кН;

$C_1\left[\frac{м^2}{кН}\right]$; $C_2\left[\frac{1}{м}\right]$; P_0[кПа] – постоянные для данной шины коэффициенты;

f – нормальный прогиб шины, м;

p_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

При расчете постоянных коэффициентов C_1, C_2, p_0 универсальных характеристик рекомендуется использовать следующие соотношения:

$$C_1 = \frac{\Sigma_{i=1}^N x_i^2 \Sigma_{i=1}^N y_i - \Sigma_{i=1}^N x_i \Sigma_{i=1}^N x_i y_i}{N\Sigma_{i=1}^N x_i^2 - \left(\Sigma_{i=1}^N x_i\right)^2} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{N\Sigma_{i=1}^N x_i y_i - \Sigma_{i=1}^N x_i \Sigma_{i=1}^N y_i}{N\Sigma_{i=1}^N x_i^2 - \left(\Sigma_{i=1}^N x_i\right)^2} \quad (5)$$

$$P_0 = 16{,}7n\left(\sqrt{\frac{D}{B} - 1{,}4}\right) - 28 \geq 0 \quad \text{(при } p_0 < 0 \text{ в расчетах принимают } p_0 = 0\text{)} \quad (6)$$

$$x_i = \frac{[f]}{\left(p_{wi} + p_0\right)}, \quad y_i = \frac{[f]^2}{G_{кi}}, \quad (7)$$

где n – норма слойности;

D, B – наружный диаметр и ширина профиля шины, м;

$[f]$ – допустимый статический прогиб шины, м;

p_{wi}, G_{ki} – внутреннее давление воздуха в шине, кПа, и соответствующая допустимая нагрузка, кН – по ГОСТ 7463;

$i = 1, 2, \ldots, N$,

где N – число ступеней нагрузки на шины по ГОСТ 7463.

Значение $[f]$ можно ориентировочно определить по формуле:

$$[f] \approx \frac{D}{2} - r_0, \quad (8)$$

где r_0 – статический радиус по ГОСТ 7463.

Нормальный прогиб шины f рассчитываются по формуле:

$$f = \frac{C_2 G_к}{2(p_w + p_0)} + \sqrt{\left[\frac{C_2 G_к}{2(p_w + p_0)}\right]^2 + C_1 G_к}, \quad p_0 > 0. \quad (9)$$

Также внесены поправки и дополнения в ГОСТ 26953-86, обусловленные усовершенствованием метода определения давлений колесных и гусеничных движителей на почву, исключающего влияние сгруживания песка на величину эпюр напряжений и приводящего к завышению значений коэффициентов неравномерности распределения напряжений [5, 6].

При пересмотре ГОСТ 26953 и ГОСТ 26954 заслуживает внимания способ математического моделирования процесса взаимодействия колеса с опорным основанием и оценки максимального давления на почву с помощью метода конечных элементов (*рис. 3, 4*).

Для моделирования почвы используется одна из разновидностей метода конечных элементов, называемая в литературе SPH, где конечным элементом при моделировании почвы принят шар с радиусом $\underline{R}$.

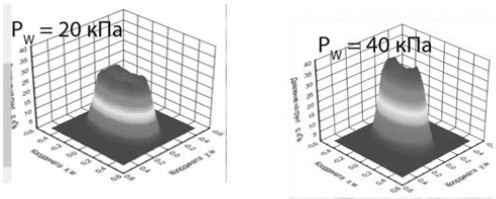


Рис. 3. Эпюра давления на почву

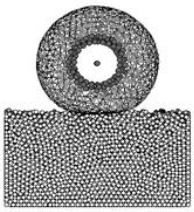


Рис. 4. Конечно-элементная модель «шина – почва»

Теоретические исследования воздействия колесного движителя на почву позволили существенно дополнить реальный эксперимент, так как компьютерное моделирование обеспечило реализацию трехмерных и двухмерных эпюр давления на почву с высоким пространственным разрешением, а также уточнило карту напряжений в шинах [5, 6, 9, 10].

По проекту ГОСТ 26954 было получено 11 замечаний и предложений от заинтересованных организаций РФ (Армавирской опытной станции – филиала ВНИИМК и других) и заинтересованных государств-членов МГС (большинство из которых редакционного характера – принято). При пересмотре ГОСТ 26954-86 провели корректировку и уточнение используемых символов в формулах и их изображение в тексте стандарта, а также внесли уточняющее определение глубины почвы под опорным основанием движителя при расчете максимального нормального напряжения в почве для каждого единичного движителя.

По проекту ГОСТ 26955 получили 9 замечаний и предложений от заинтересованных организаций РФ (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева и других) и заинтересованных государств-членов МГС (большинство из которых редакционного характера – принято).

При пересмотре ГОСТ 26955-86 руководствовались разработанными рекомендациями по допустимым давлениям на почву по результатам вышеназванных расчетно-экспериментальных исследований; были внесены изменения и дополнения в раздел 2 «Нормативные ссылки», раздел 3 «Термины и определения», обновлены приложения; внесено требование проведения оценки максимального давления на почву по универсальным характеристикам шин в соответствии пересмотренного ГОСТ 26953; проведена корректировка формулы (Б.2) в приложении Б настоящего проекта.

Выводы. Проекты стандартов направили на редактирование в Стандартинформ и на утверждение в Росстандарт. Обновленные стандарты ГОСТ 26953, ГОСТ 26954 и ГОСТ 26955 позволят учитывать современный уровень развития ходовых систем сельскохозяйственной техники и современные методы определения давления движителей на почву. Исследование механиз-

ма деформации позволит создавать модели напряженно-деформированного состояния почвы и взаимодействия почвы с рабочим органом, что даст возможность совершенствовать расчетные схемы и характеристики почвообрабатывающей техники. Исследование процессов и механизмов сжимаемости почвы при техногенном воздействии поможет обосновать нормативы допустимых давлений на почву.Установленные в стандарте ГОСТ 26955 нормы воздействия движителей на почву и методы их определения могут быть использованы в практической деятельности различных хозяйств с целью повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственной мобильной техники за счет снижения процента переуплотнения почвы ходовыми системами механизмов. Пересматриваемый ГОСТ 26955 регламентирует ограничение давления сельскохозяйственной техники на пахотные и подпахотные слои почвы, чтобы снизить потери урожая сельскохозяйственных культур и сохранить плодородные земли. Введение стандарта позволит разработчикам и производителям сельхозтехники находить оптимальные соотношения между весом сельхозмашин и их производительностью. По результатам пересмотра и внедрения ГОСТ 26953, ГОСТ 26954 и ГОСТ 26955 планируют разработать методики определения показателей эффективности от снижения воздействия на почву движителей сельхозтехники и рекомендации к применению их на МИС при проведении эксплуатационных испытаний. Например, Методика определения показателей эффективности от снижения воздействия на почву движителей сельхозтехники, перемещающейся в технологическом цикле по полям. После ввода в действие пересмотренных ГОСТ 26953, ГОСТ 26954, ГОСТ 26955 предполагают подготовить проект Технического регламента Таможенного союза «Экологическая безопасность земель сельскохозяйственного назначения от техногенного воздействия». Имеется заинтересованность в сотрудничестве ведущих организаций РФ и поддержка ряда стран (Беларуси, Казахстана, Армении и других).

Библиографический список

1. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почвы движителями и эффективные пути ее решения. М.: ВИМ. 1998. 368 с.

2. Годжаев З.А., Годжаев Т.З., Казакова В.А., Шинкевич В.А. Пересмотр стандартов по воздействию движителей на почву // Стандарты и качество. 2018. N7 (973). С. 46-50.

3. Годжаев З.А., Русанов А.В., Казакова В.А., Шинкевич В.А. Опыт и инновации за снижение воздействия сельхозтехники на почву // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. N6. С. 39-49.

4. Костомахин М.Н., Халфин С.М. Анализ качества и технического уровня оте чественной сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2005. N12. С. 45-48.

5. Годжаев З.А. Русанов А.В., Ревенко В.Ю. Метод построения эпюр касательных напряжений в зоне контакта буксующего колеса с почвой // Тракторы и сельхозмашины. 2017. N5. С. 39-47.

6. 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.

7. Прядкин В.И. Мобильные энергосредства сельскохозяйственного назначения на шинах сверхнизкого давления: дис… д-ра техн. наук. Воронеж. 2013. 449 с.

8. Годжаев З.А., Сапьян Ю.Н., Колос В.А., Горшков М.И. Расход и потери горю-

че-смазочных материалов в условиях рядовой эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N2. С. 9-14.

9. Годжаев З.А., Евтюшенков Н.Е. Снижение воздействия ходовых систем на почву // Водитель – автомобиль – дорога. 2016. N8. С. 38-39.

10. Кувшинов А.Н. Влияние параметров колесного движителя на уплотняющее воздействие агрегатов на почву // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. N2(23). С. 218-222.

References

1. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniya pochvy dvizhitelyami i effektivnyye puti eye resheniya [The problem of soil compression by movers and effective ways to solve it]. Moscow: VIM. 1998. 368 (In Russian).

2. Godzhayev Z.A., Godzhayev T.Z., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Peresmotr standartov po vozdeystviyu dvizhiteley na pochvu [Revision of standards on the impact of movers on the soil]. Standarty i kachestvo. 2018. N7(973). 46-50 (In Russian).

3. Godzhayev Z.A., Rusanov A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Opyt i innovatsii za snizheniye vozdeystviya sel'khoztekhniki na pochvu [Experience and innovation for reducing the impact of agricultural machinery on the soil]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2019. N6. 39-49 (In Russian).

4. Kostomakhin M.N., Khalfin S.M. Analiz kachestva i tekhnicheskogo urovnya otechestvennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Analysis of quality and technical level of domestic agricultural machinery]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2005. N12. 45-48 (In Russian).

5. Godzhayev Z.A. Rusanov A.V., Revenko V.Yu. Metod postroyeniya epyur kasatel'nykh napryazheniy v zone kontakta buksuyushchego kolesa s pochvoy [Method of plotting tangential stresses in the contact zone of the skidding wheel with the soil]. Traktory i sel'khozmashiny. 2017. N5. 39-47 (In Russian).

6. Godzhayev Z.A. Izmaylov A.Yu., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Rusanov A.V. Issledovaniye davleniya kolesnogo dvizhitelya na pochvu s uchetom kharakteristiki shiny [Investigation of the pressure of the wheel mover on the soil taking into account the characteristics of the tire]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2016. N1. 5-10 (In Russian).

7. Pryadkin V.I. Mobil'nyye energosredstva sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya na shinakh sverkhnizkogo davleniya: dis … d-ra tekhn. Nauk [Mobile power means for agricultural purposes on ultra-low pressure tires: dis ... dr. tech. sciences]. Voronezh. 2013. 449 (In Russian).

8. Godzhayev Z.A., Sap'yan Yu.N., Kolos V.A., Gorshkov M.I. Raskhod i poteri goryuche-smazochnykh materialov v usloviyakh ryadovoy ekspluatatsii mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Consumption and losses of fuel and lubricants in the conditions of ordinary operation of mobile agricultural machinery]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2017. N2. 9-14 (In Russian).

9. Godzhayev Z.A., Evtyushenkov N.E. Snizheniye vozdeystviya khodovykh sistem na pochvu [Reducing the impact of running systems on the soil]. Voditel' – avtomobil' – doroga. 2016. N8. 38-39 (In Russian).

10. Kuvshinov A.N. Vliyaniye parametrov kolesnogo dvizhitelya na uplotnyayushcheye vozdeystviye agregatov na pochvu [Influence of the parameters of the wheel drive on the compressing effect of aggregates on the soil]. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2017. N2(23). 218-222 (In Russian).

УДК 621.319.5

УМЕНЬШЕНИЕ ИЗНОСА ТРИБОПАР ВСЛЕДСТВИЕ ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАСЛА

Александр Анатольевич Гвоздев[1], доктор технических наук, профессор;
Анатолий Васильевич Дунаев[2], доктор технических наук, главный специалист, e-mail: dunaev135@mail.ru
[1] Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева, г. Иваново, Российская Федерация
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Физические методы воздействия на смазки позволяют малозатратно и без изменения конструкции узлов трения заметно улучшать их триботехнику, но они используются неоправданно мало. (Цель исследования) Выявить зависимость коэффициента трения и износа трибопар от напряжения на электродах из мягких металлов в моторном масле и определить оптимальное напряжение на них. (Материалы и методы) Провели лабораторные исследования на трибометре TRB-S-DE со стальной трибопарой в масле М-10Г$_{2К}$ при ступенчатом нагружении до 218 мегапаскалей, скорости скольжения 100 сантиметров в секунду с электрическим воздействием на масло разными уровнями и формами напряжения через стальной, графитовый и электроды из мягких металлов с контролем коэффициента трения и изнашивания. Выполнили эксплуатационные испытания на 31 легковом автомобиле при подаче на детали в моторных и трансмиссионных маслах напряжения до 48 вольт с контролем расхода топлива. Осуществили испытания на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик – по ролику» с подачей в масло напряжения до 100 вольт с цинкового, оловянного и медного электродов. (Результаты и обсуждение) Подтвердили улучшение трибосвойств сопряжений электрическим воздействием на моторные и трансмиссионные масла. Выявили, что при подаче постоянного напряжения до 33 вольт на электроды в масле значительно уменьшается трение и изнашивание при малых нагрузках, меньше – при средних и без эффекта в номинальном режиме. Определили, что подача напряжения 48 вольт даже на стальные детали в масле двигателей экономит не менее 3 процентов топлива, а с воздействием на масла и в трансмиссии – в среднем до 18 процентов. (Выводы) Установили, что уменьшить изнашивание прибопар в 2-3 раза можно электровоздействием на масла. Необходимо продолжить испытания с электродами из магниевых сплавов, с разными свежими и работавшими маслами. Ввод электродов в поток масел повысит эффективность воздействия на двигатель внутреннего сгорания. Целесообразны такие исследования и для гидравлических масел.*

Ключевые слова: *масло, электрозаряд, трение, износ, двигатель, расход топлива.*

Для цитирования: *Гвоздев А.А., Дунаев А.В. Уменьшение износа трибопар вследствие электровоздействия на масла // Технический сервис машин. 2019. N4(137) С. 58-67*

REDUCING OF WEAR OF FRICTION PARTS USING ELECTRICALLY PROCESSED LUBRICANTS

Aleksandr A. Gvozdev[1], Dr. Sc. (Eng.) professor;
Anatoliy V. Dunayev[2], Dr. Sc. (Eng.), chief specialist;
[1] Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaev, Ivanovo, Russian Federation
[2] Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Physical methods of influence on lubricants allow to improve considerably their friction parameters with low-cost and without change of a design of friction parts, but they are used unreasonably a little. (Research purpose) The research purpose is identification the dependence of the friction coefficient and wear of friction parts on the voltage on the electrodes of soft metals in engine oil and determine the optimal voltage on them. (Materials and methods) Authors performed laboratory studies on TRB-S-DE friction meter with steel friction pair in M-10G2K oil at step loading up to 218 megapascals, sliding speed of 100 centimeters per second with electric impact on the oil by different levels and forms of voltage through steel, graphite and soft metal electrodes with control of friction and wear coefficient. We performed operational tests on 31 passenger cars when applying to parts in engine and transmission lubricant oils of voltage up to 48 volts with fuel consumption control. Tests were carried out on the friction machine SMT-1 according to the scheme "roller-roller" with the supply of voltage up to 100 volts to the oil from zinc, tin and copper electrodes. (Results and discussion) The article confirmes the improvement of friction properties by electrical action on engine and transmission oils. Authors found that when applying a constant voltage of up to 33 volts to the electrodes in the oil, friction and wear significantly decreases at low loads, less – at medium and without effect in the nominal mode. It was determined that the supply voltage of 48 volts even on steel parts in the engine oil saves at least 3 percent of fuel, and with the impact on the oil and in the transmission saves up to 18 percent. (Conclusion) Authors found that reducing the wear of friction pairs by 2-3 times can be achieved by electro-action on the lubricant oil. It is necessary to continue testing with electrodes made of magnesium alloys, with different fresh and working oils. The introduction of electrodes into the oil stream will increase the efficiency of the impact on the internal combustion engine. Such studies are also appropriate for hydraulic oils.*

Keywords: *oil, electric charge, friction, wear, engine, fuel consumption.*

For citation: *Gvozdev A.A., Dunayev A.V. Umen'sheniye iznosa tribopar vsledstviye elektrovozdeystviya na masla [Reducing of wear of friction parts using electrically processed lubricants]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 58-67(In Russian).*

Введение. Уменьшение трения и изнашивания – постоянно актуальная задача. Важно совершенствовать смазочные материалы, для чего созданы новые базы масел и присадки, а при эксплуатации в масла вводятся разнообразные добавки [1].

Современные масла и смазки имеют высокое качество, но за счет усложнения химического состава цена их высокая. Возможности дальнейшего совершенствования масел ограничены и экономически не оправданны. Существуют некоторые простые методы для улучшения их триботехнических свойств. Такими методами модификаций работающих масел могут быть электрическая, магнитная, электромагнитная обработки, изменяющие структуру и свойства углеводородов масел и присадок, образующие активные радикалы, поляризующие компоненты смазок, насыщая их зарядами [2-12]. Электрическим и магнитным воздействиям подвержены и физическая, и химическая адсорбция и другие трибопроцессы. Несмотря на это в классической трибологии трибоэлектрическим процессам уделено мало внимания [13]. Первые обстоятельные исследования электрических процессов в сухом трении провел А.Д. Дубинин. Он выявил импульсы напряжения до 192 В при ударе шариком о плиту, сила тока при трении составляет до 0,03 А. Показал сложность, неоднозначность электропроцессов в трении. Если металлы имеют разные электропотенциалы, то, как выявил Ю.С. Рыбников, в трибопаре возможен эрозионный постоянный электрический ток. Защита от него – пленочный твердополимерный электроизолятор, апробированный в шлицевых соединениях на штамповом инструменте при вытяжке тонких высоких стаканов.

В МАДИ испытали подачу постоянного тока непосредственно на гильзы левого ряда цилиндров дизеля ЯМЗ-236. Через год в противоположность другим цилиндрам выявили почти полное отсутствие износа и очистку их от нагара. Подачу напряжения в ЧШМ исследовал Ю.С. Заславский. При + 60В на диске коэффициент трения снижался на 40%. При + 4В на диске и токе 5мА образовывалась коричневая оксидная пленка со снижением шероховатости, износ отсутствовал, сохранялись следы мехобработки, но на шариках шел абразивный износ. Если через 30 мин отключали электричество, то получали хорошую приработку диска с коэффициентом трения 0,02. Но при подаче на диск – 4В трение усиливалось, диск интенсивно изнашивался, а у шариков износ снижался. В испытаниях же с магнитным полем частицы износа намагничивались, создавали «защитный слой» и шло окислительное, а не абразивное изнашивание.

В пионерах электростатического (1000 В/мм) воздействия на масла работала и школа проф. Е.Н. Лысикова в Украинской академии железнодорожного транспорта (УкрДАЗТ). Здесь провели исследования по электрической деполяризации компонентов масел, когда разрушают мицеллы присадок и создают полимолекулярный слой упорядоченных «пакетов» смазки.

Проведены исследования электростатического, магнитного и электромагнитного влияния на масла, испытания в маслах МГЕ-46 и И-20А трибопары «ролик-бронзовая колодочка» на машинах трения МАСТ-1, СМТ-1. Показано, что воздействие на поток масла полем напряженностью 400-1000 В/мм увеличивает толщину граничной смазочной пленки в 2 раза, ее несущую способность до 1,5 раз, уменьшает износ в 2-4 раза, причем с повышением нагрузки износостойкость трибопар возрастала. Для реализации такой обработки масел на всей тяжелой технике Донбасса в УкрДАЗТ созданы несколько вариантов устройств для дизелей автосамосвалов и гидросистем экскаваторов. Независимо от этого выработан более простой прием – эмиссия в масла электрозарядов с маломощного источника постоянного напряжения 12/45 В. Поскольку компоненты масел являются диэлектриками,

т.е. потенциальными носителями зарядов, то эмиссия в них зарядов – это альтернатива исследованиям харьковских ученых, задействовавших опасный источник высокого напряжения.

Широкие испытания эмиссии проведены инж. И.Ф. Пустовым на 26 легковых импортных автомобилях. Напряжение подавали через 1-2 тыс. км пробега от трибообработки ДВС составом Fe-do. Это позволяло удалять отложения с поверхностей трения и эффективнее использовать эмиссию, когда открыты ювенильные поверхности трения. После трибообработки ДВС расход топлива автомобилей на трасе Санкт-Пепербург – Петрозаводск снижался на 5-6%, а с эмиссией – еще на 2-3%. Эмиссия апробирована и в агрегатах трансмиссии автомобиля и расход топлива снижался еще на 1,5-2%, т.е. на 8,5-11%. На автомобиле Ford F-150 (двигатель V-8, пробег 250 тыс. км) расход бензина составлял 15 л/100 км, но после комплексной трибообработки ДВС и с эмиссией снизился к 13,7 л/100 км. Ввод эмиссии еще в два трибообработанных ведущих моста и в раздаточную коробку снизил расход до 13,2 л/100 км, а позже до 10-11 л/100 км. Электровоздействие на масла промышленными преобразователями выполнены инж. В.Г. Рыжовым на двух автомобилях: на АУДИ 100 (ДВС V-6, 2,8 л, инжекторная подача топлива, КП механическая) и на АУДИ А4 (ДВС – дизель 2,4 л, турбонаддув, механическая КП). На первом автомобиле ДВС отремонтирован, обработан трибосоставом РВД, обкатан на пробеге 8 тыс. км. Устоявшийся расход топлива в смешанном режиме движения составлял 10,6 л /100 км.

С эмиссией зарядов в моторное масло на осень 2019 г. автомобилем АУДИ 100 пройдено 35 тыс. км. В пробеге Москва – Екатеринбург, 2250 км, экономия топлива составила 8-12%. В обратной поездке с прицепом (400-450 кг) экономия повысилась до 16-18%, т.е. расход топлива был как в движении без прицепа. Экономия остается на уровне 12%. На прогретом ДВС экономия больше, чем в коротких поездках, а на холодном ДВС экономии нет. Электрообработка более эффективна с поработавшими маслами и тем больше, чем жиже масло. До 3000-3200 мин$^{-1}$ экономия топлива явная, а при большей частоте не выявляется, по-видимому, из-за уменьшения удельной подачи заряженного масла в сопряжения. Это требует установки электрода в главной масляной магистрали ДВС.

У дизельного автомобиля с эмиссией пробег более 30 тыс. км. После обработки ДВС трибосоставом «РВД» расход топлива составлял 4,2-4,3 л/100 км, а с эмиссией снизился к 3,9-3,8 л/100 км, как по показаниям бортового компьютера, так и фактически, т.е. уменьшился на 11,05%. Аналогичные испытания проведены д.т.н. С.Н. Шарифуллиным на автомобиле Хундай АХ 35 в пробеге Чистополь – Казань и обратно. Здесь при обычном расходе около 11 л/100 км с эмиссией расход бензина снижался к 7-8,5 л/100 км. Итак, эмиссия зарядов в масла улучшает показатели работы ДВС, очищает ЦПГ и масло коагуляцией загрязнений и их фильтрацией, снижает изнашивание и увеличивает ресурс ДВС [7]. Но данные о ее действии различны:

- происходит улучшение смачивания всеми жидкостями;
- осуществляется упорядочение ориентации диполей смазки на поверхностях трения с усилением адгезии на них. Это подтверждается множеством исследований за рубежом, а в РФ – А.С. Ахматовым [22]. Им показано, что с увеличением ε –потенциала поверхностей увеличивается число адсорбированных молекул, а их ориентация становится перпендикулярной, плотным ворсом;

- электризации поддаются не все масла;

- в маслах образуются сгустки, задерживаемые фильтрами;

- воздействие эмиссии медленное, с ее отключением эффект быстро исчезает;

- с повышением напряжения электрополя, действующего на масло, сила тока между электродами в масле растет до некоторого предела, а с дальнейшим повышением – уменьшается из-за неясных преобразований компонентов масел;

- наибольшая эффективность воздействия проявляется, по-видимому, только после накопления в сопряжениях трения достаточных порций заряженных масел.

Цель исследования – выявить зависимость коэффициента трения и износа трибопар от напряжения на электродах из мягких металлов в моторном масле и определить оптимальное напряжение на них.

Материалы и методы. Использовали трибометр TRB-S-DE Швейцарской фирмы SCM Instruments по схеме «палец-диск», машина трения 2070 СМТ-1 по схеме «ролик по ролику», моторное масло М-10Г2К, источники нерегулируемого и регулируемого напряжения постоянного тока до 100В, цинковый, оловянный, медный, алюминиевый, железный и угольный электроды, цифровой мультиметр DT-832. В испытаниях контролировали коэффициент трения, момент трения, износ трибопары, температуру в контакте и некоторые другие показатели.

На трибометре испытания пары «палец-диск» проводили в режиме ступенчатого нагружения до давления 228 МПа со скоростью скольжения 100 см/с. На машине трения за 5 мин прирабатывали трибопары под нагрузкой 1000 N, а за 25 мин проводили испытания при нагрузке 2000 N на верхний ролик диаметром 7 мм из игольчатого подшипника над стальным роликом диаметром 50 мм, вращаемым при 400 мин$^{-1}$. Давления в конце испытаний составляли 2400 и 2600 МПа.

Результаты и обсуждение. На трибометре TRB-S-DE в начале были испытаны восемь проб масла, пролитого через «электронно-каталитический преобразователь топлива» (ЭКТ), где происходит частотно-резонансная (7,5-9 кВ, 7-8 кГц) электромагнитная обработка масел. Испытания показали снижение коэффициента трения в среднем с 0,087 для исходного масла до 0,068 для масла, подвергнутого воздействию в ЭКТ (*рис. 1*).

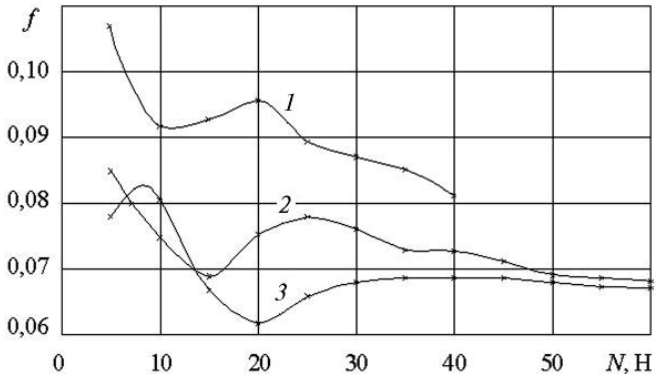


Рис 1. Коэффициент трения пары «палец-диск» в масле М-10Г2К:
1 – исходное масло; 2, 3 – масла, подвергнутые в ЭКТ воздействиям разной интенсивности

Далее аналогично исследовали динамику коэффициента трения при вводе в бурун масла за пальцем трибопары медного, алюминиевого, оловянного, цинкового, стального и угольного электродов. Вначале использовали источники напряжения (ЭРТ): 3В, частота до 100Гц; 32,9В, частота 10кГц; 32,9В, частота 10кГц; 32,9В, частоты 1 и 10 МГц. Испытания показали, что в режимах низких напряжений и низких частот (5-100 Гц) коэффициент трения при средних и повышенных нагрузках снижается незначительно. А при напряжении 32,9В оно наибольшее: от 0,010 до 0,099, а в среднем – 0,025. Наилучшими выявлены низкие частоты (до 10 кГц) и повышенное напряжение, когда изменение высоты положения пальца над диском (то есть износ трибопары) в 1,5 раза меньше (*рис. 2*).

Аналогично проведены испытания преобразователя на 48В от «ИЦ «ЛИК» (*рис. 3*). Контроль масла М-10Г2К после электровоздействия показал появление его проводимости: между электродами вольтметра возникало напряжение 3,2 мВ.

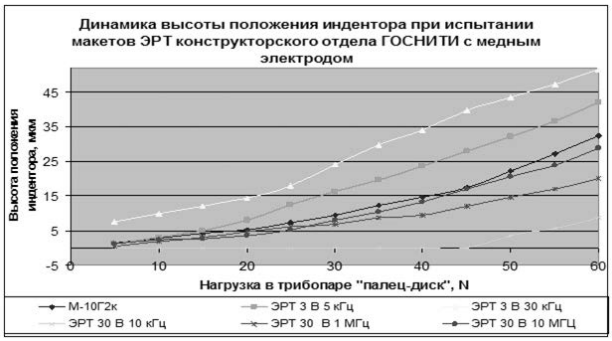


Рис. 2. Результаты испытаний трибопар при подаче в масло М-10Г2К электричества через медный электрод: наименьший износ трибопар получен при подаче 32,9 В с частотой 10 кГц (голубая линия)

В последних испытаниях на машине трения в том же масле с двух–пятикратной повторностью, с хорошей сходимостью результатов использовали аноды из *Zn, Sn, Cu*. Здесь при оптимальном напряжении на аноде износ верхнего ролика пар уменьшен в 2,7-2,9 раза (*табл., рис. 4*).

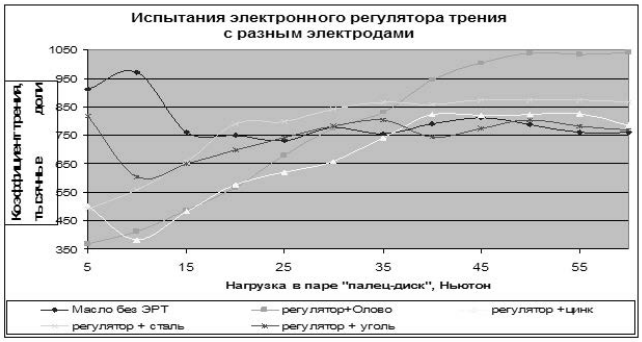


Рис. 3. Результаты испытания преобразователя от «ИЦ «ЛИК» с разными электродами: с цинковым электродом при нагрузке 10 Н коэффициент трения снизился с 0,096 к 0,037

Обнаружили накопление на поверхности нижнего ролика заметной масляной пленки и удержание ее после снятия напряжения с анода. Вопреки ранним представлениям проявился эффект последействия электризации, хотя его длительность не уточнена. Выявили, что при вращении нижнего ролика, погруженного в масло на 1/3 диаметра, на нем за верхним роликом оставался оголенный участок без масляной пленки, видимый бы невооруженным глазом.

Таблица

Зависимости износа ролика пары от напряжения на анодах

А. Металл анода – Zn

Напряжение, В	**Износ, мм^2 и его снижение**	**Момент трения, Nсм**	***Температура в зоне трения, °С***
0	2,237 (база)	231	*97,75*
30	1,126/в 1,987раза	180	*93,6*
40	1,236/в 1,81	190	*94,1*
50	1,413/в 1,583	195	*88,7*
60	1,913/в 1,169	152	*86,95*
70	**0,818/в 2,735**	**190**	***79,68***
80	0,893/в 2,505	190	*83,2*
100	*2,039/в 1,097*	*235*	*95,6*

Б. Металл анода – Sn

Напряжение, В	**Износ, мм^2**	**Момент трения, Nсм**	**Температура в зоне трения,** °С
0	2,237	231	97,75
30	-	-	-
40	0,931	185	90,3
50	**0,767/в 2,92**	**175**	**84,8**
60	1,153	225	92,4

В. Металл анода – Cu

Напряжение, В	**Износ, мм^2**	**Момент трения, Nсм**	**Температура в зоне трения, °С**
0	2,237	231	97,75
30	-	-	-
40	-	-	-
50	1,008	210	90,0
60	**0,777/в 2,88**	**210**	**81,3**
70	1,961	240	103,7

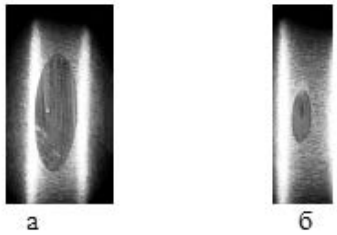


Рис. 4. Пятна контакта изношенного верхнего ролика в паре «ролик – по ролику» при испытании на машине СМТ-1 в масле М-10Г2К под нагрузкой 2000 N на верхний ролик и скорости скольжения 104,7 см/с: а – без подачи напряжения на оловянный анод; б – с подачей напряжения на этот анод

По блеску металла было видно, что нижний ролик не имеет заметной масляной пленки после истирания ее верхним роликом. Но этот блеск при

подаче напряжения на анод исчезал и ролик покрывался толстым масляным слоем. Это свидетельствует о резком усилении адгезии масла, об улучшении смазывания, что возможно и при меньших температурах, например, в пусковых режимах ДВС.

Но как это проявится на маслах с другой базой: полусинтетических, синтетических, на базе масел V-й группы ПАО? Не ясно также, каково будет влияние формы анода, его расположения у трибопар, соотношения площади анода к площади трибопар в ДВС, КП, в гидрооборудовании.

В целом испытания показали:

- почти трехкратное уменьшение износа – как будущее увеличение ресурса узлов и агрегатов машин и оборудования;

- уменьшение на 18% момента трения – как снижение мехпотерь и возможного уменьшения расхода топлива в ДВС;

- снижение на 20% температуры контакта – как уменьшение теплонапряженности узлов трения, возможного исключения перегрева и деструкции смазок.

Для каждого материала анода выявлена своя оптимальная разность потенциалов между анодом и парой трения. Не выявляют связь между эффективностью электризации масел и электропотенциалами металлов анодов.

Выводы. Электровоздействие на масла как малозатратный ресурсосберегающий прием может в 2-3 раза уменьшать изнашивание трибопар. Полученные результаты имеют и научное, и практическое значение для увеличения ресурса узлов трения любых машин и оборудования, работающих с маслами. Но электризация масла подлежит дальнейшему исследованию с вводом в масла углеродных добавок, с разными типами свежих и работавших масел, используемых миллионами тонн на автотракторной технике, энергоемком стационарном оборудовании всего мира. Метод требует широкую эксплуатационную апробацию, разработку электродов с наиболее эффективными металлами для установки в потоках масел ДВС и других агрегатов. Возможно, что полученные результаты простимулируют аналогичные исследования с трансмиссионными и гидравлическими маслами.

Библиографический список

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

2. Воронин С.В., Дунаев А.В. Влияние электрического и магнитного поля на механизм действия присадок к маслам // Трение и износ. 2015. Т. 36. N1. С. 643-649.

3. Способ электрообработки жидкости на нефтяной основе в сильном электростатическом поле: пат. 2101480 Рос. Федерация /Руднев В.К., Костин Н.Н., Курбан В.Д., Старунов В.М., Матюхин А.И., Косолапов В.Б., Лысиков Е.Н.; заявл. 01.11.

4. Электронный регулятор трения: пат. на полезную модель 59198 Рос. Федерация. N 2005123652/22 / Любимов Д.Н., Вершинин Н.К, Иванов А.Е., Голенкова И.В.; заявл. 25. 07. 2005; опубл. 10.12.2006.

5. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Вершинин К.Н., Дунаев А.В. Антифрикционная эффективность поляризации масел – инновационный фактор модернизации машин. М.: Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 40-44.

6. Способ повышения эффективности использования смазочного масла с присадками: пат. 2624927 Рос. Федерация. N 2015143083/Воронин С.В., Дунаев А.В., Любимов Д.Н., Остриков В.В., Соловьев С.А.; заявл. 09.10. 2015; опубл. 11.07.2017.

7. Современная трибология. Итоги и перспективы. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 480 с.

8. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей. Киев: Машгиз (южное отделение). 1963. 140 с.

9. Заславский Ю.С., Артемьева В.П. Новое в трибологии смазочных материалов. М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУНГ им. И.М. Губкина. 2001. 480 с.

10. Рыбников Ю.С. Электрофизическая основа взаимодействия тел при трении и электромеханическая природа самоорганизующегося режима электроизноса и электроразрушения материалов трибопар при трении скольжения и качения // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. N8. С. 29-32.

11. Канарев Ф.М. Физхимия микромира. Изд. 8-е. Краснодар. 2008. 876 с.

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

13. Шимонаев Г.С. Исследование природы носителей электрического заряда в моторных маслах с полифункциональными присадками // Мир нефтепродуктов. 1995. N 2. С. 44-47.

References

1. Dunayev A.V., Filippova E.M. Netraditsionnaya tribotekhnika dlya povysheniya resursa avtotraktornoy tekhniki. Itogi 25-letnego razvitiya [Non-traditional tribology to increase the service life of tractors. The results of 25 years of development]. Moscow: GOSNITI. 2017. 255 (In Russian).

2. Voronin S.V., Dunayev A.V. Vliyaniye elektricheskogo i magnitnogo polya na mekhanizm deystviya prisadok k maslam [Influence of electric and magnetic fields on the action mechanism of oil additives]. Treniye i iznos. 2015. Vol. 36. N1. 643-649 (In Russian).

3. Sposob elektroobrabotki zhidkosti na neftyanoy osnove v sil'nom elektrostaticheskom pole: pat. 2101480 Ros. Federatsiya. [Method of electric treatment of oil-based liquid in a strong electrostatic field: Pat. 2101480 Russian Federation] /Rudnev V.K., Kostin N.N., Kurban V.D., Starunov V.M., Matyukhin A.I., Kosolapov V.B., Lysikov E.N.; App. 01.11.

4. Elektronnyy regulyator treniya: pat. na poleznuyu model' 59198 Ros. Federatsiya. N 2005123652/22 [Electronic friction regulator: Pat. on utility model 59198 Russian Federation. N 2005123652/22] / Lyubimov D.N., Vershinin N.K, Ivanov A.E., Golenkova I.V.; App. 25. 07. 2005; Pub. 10.12.2006.

5. Lyubimov D.N., Dolgopolov K.N., Vershinin K.N., Dunayev A.V. Antifriktsionnaya effektivnost' polyarizatsii masel – innovatsionnyy faktor modernizatsii mashin [Antifriction efficiency of oil polarization as an innovative factor of machine modernization]. Moscow: Trudy GOSNITI. 2014. Vol. 116. 40-44 (In Russian).

6. Sposob povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya smazochnogo masla s prisadkami: pat. 2624927 Ros. Federatsiya. N 2015143083 [Method for increasing the efficiency of lubricant oil with additives: Pat. 2624927 Russian Federation. N 2015143083] / Voronin S.V., Dunayev A.V., Lyubimov D.N., Ostrikov V.V., Solov'yev S.A.; App. 09.10. 2015; Pub. 11.07.2017.

7. Sovremennaya tribologiya. Itogi i perspektivy [Modern tribology. Results and prospects]. Moscow: Izd-vo LKI, 2008. 480 (In Russian).

8. Dubinin A.D. Energetika treniya i iznosa detaley [Energy of friction and wear of parts]. Kiyev: Mashgiz (yuzhnoye otdeleniye). 1963. 140 (In Russian).

9. Zaslavskiy Yu.S., Artem'yeva V.P. Novoye v tribologii smazochnykh materialov [New in lubricant tribology]. Moscow: Izd-vo «Neft' i gaz» RGUNG im. I.M. Gubkina. 2001. 480.

10. Rybnikov Yu.S. Elektrofizicheskaya osnova vzaimodeystviya tel pri trenii i elektromekhanicheskaya priroda samoorganizuyushchegosya rezhima elektroiznosa i elektrorazrusheniya materialov tribopar pri trenii skol'zheniya i kacheniya

[Electrophysical basis of interaction of bodies at friction and electromechanical nature of self-organizing mode of electric wear and electric destruction of friction pair materials at sliding and rolling]. Treniye i smazka v mashinakh i mekhanizmakh. 2012. N8. 29-32 (In Russian).

11. Kanarev F.M. Fizkhimiya mikromira [Physical chemistry of the microcosm]. Izd. 8-e. Krasnodar. 2008. 876 (In Russian).

12. Akhmatov A.C. Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya [Molecular physics of boundary friction]. Moscow: Fizmatgiz. 1963. 472 (In Russian).

13. Shimonayev G.S. Issledovaniye prirody nositeley elektricheskogo zaryada v motornykh maslakh s polifunktsional'nymi prisadkami [Investigation of the nature of electric charge carriers in motor oils with multifunctional additives]. Mir nefteproduktov. 1995. N2. 44-47 (In Russian).

УДК 631.3:621.825.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

Александр Геннадиевич Пастухов[1], доктор технических наук, профессор;
Евгений Петрович Тимашов[2], кандидат технических наук, доцент, e-mail: timachov@mail.ru
[1]Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород, Российская Федерация;
[2]Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Российская Федерация

Реферат. *Элементы механических трансмиссий зачастую представляют собой движущиеся пары трения, непрерывное их диагностирование путем измерений линейных размеров или вибрационных характеристик – задача сложная. Перспективным направлением стало применение метода термодиагностики, позволяющего осуществлять бесконтактное наблюдение на основе изменения интенсивности инфракрасного излучения. (Цель исследования) Обосновать применение методики диагностирования элементов трансмиссии по величине их тепловыделения. (Материалы и методы) Провели стендовые испытания карданных шарниров неравных угловых скоростей. Наблюдали увеличение скорости приращения температуры подшипниковых узлов, свидетельствующее о механическом заедании или интенсивном износе. Разработали математическую модель изменения температуры для элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира. (Результаты и обсуждение) Получили зависимости температуры и износа подшипниковых узлов карданного шарнира от наработки. Определили, что сравнение эмпирических зависимостей температуры и зазора от наработки между собой по методу точек перегиба кривых позволило установить разность в 2,14 процентов, что подтверждает общность наблюдаемых явлений и позволяет установить влияние зазора в подшипниковых узлах на их температуру. (Выводы) Установили эмпирическую зависимость между зазорами подшипниковых узлов карданных шарниров и их температурой – приращение температуры на 0,367 градуса обеспечивается зазором в один микрометр. Математическая модель изменения температуры для элементарного тепловыделяющего соединения подшипникового узла карданного шарнира дополнена приращением температуры в зависимости от величины зазора в подшипниковых узлах. Полученная эмпирическая зависимость позволяет применить метод термодиагностики для элементов механических трансмиссий с учетом величин зазоров в подшипниковых узлах.*

Ключевые слова: *карданный шарнир, техническая диагностика, тепловыделение, величина изнашивания, подшипниковые узлы, трансмиссия, эмпирическая зависимость.*

Для цитирования: *Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Обеспечение реализации цифровых систем диагностирования элементов трансмиссии на основе тепловыделения // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 68-75.*

IMPLEMENTATION OF DIGITAL DIAGNOSTIC SYSTEMS OF TRANSMISSION ELEMENTS BASED ON HEAT DISSIPATION

Aleksandr G. Pastukhov[1], Dr. Sc. (Eng.), professor;
Evgeniy P. Timashov[2], PhD (Eng.), associate professor
[1]Belgorod State Agricultural University named after V. Ya. Gorin, Belgorod, Russian Federation;
[2]Belgorod University of Cooperation, Economy and Law, Belgorod, Russian Federation

Abstract. *Elements of mechanical transmissions are often friction pairs; their continuous diagnosis by measuring the linear dimensions or vibration characteristics is a difficult task. A promising direction is the use of the method of thermodiagnostics, which allows non-contact control based on changes in the intensity of infrared radiation. (Research purpose) The research purpose is justifying the use of diagnostic methods of transmission elements in terms of their heat dissipation. (Materials and methods) Authors performed bench tests of cardan joints of unequal angular velocities. It was noted an increase in the rate of temperature increment of the bearing parts, indicating mechanical jamming or intense wear. The article presents the designed mathematical model of temperature change for the elementary connection of the cardan joint. (Results and discussion) The article presents the dependence of temperature and wear of the bearing units of the cardan joint on operating time. It was found that the comparison of the empirical dependences of temperature and clearance on the operating time between each other by the method of curve inflection points allowed determining a difference of 2.14 percent, which confirms the generality of the observed phenomena and allows state the effect of the clearance in the bearing parts on their temperature. (Conclusion) The article presents an empirical relationship between the gaps inside the bearing parts of cardan joints and their temperature; an increment of temperature by 0.367 degrees is provided by a gap of one micrometer. The mathematical model of temperature change for the elementary heat generating part of the bearing unit is supplemented by an increment of temperature depending on the gap size in the bearing units. The obtained empirical dependence allows applying the method of thermodiagnostics for the elements of mechanical transmissions taking into account the values of gaps in the bearing parts.*

Keywords: *cardan joint, technical diagnostic, heat release, wear, bearing part, transmission, empirical dependence.*

For citation: *Pastukhov A.G., Timashov E.P. Obespecheniye realizatsii tsifrovykh sistem diagnostirovaniya elementov transmissii na osnove teplovydeleniya [Implementation of digital diagnostic systems of transmission elements based on heat dissipation]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 68-75(In Russian).*

Введение. Ресурсное диагностирование агрегатов механических трансмиссий транспортных и технологических машин остается актуальной про-

блемой при определении работоспособности техники из-за возможности оценки технического состояния при выполнении разборочно-сборочных операций или в условиях стендовых испытаний при эксплуатационных нагрузках [1]. Карданные валы с шарнирами неравных угловых скоростей, представляя собой элементы механических трансмиссий, в частности, тракторов и сельскохозяйственных машин, передают значительный поток мощности для привода движителя и/или технологических рабочих органов. Надежность карданных шарниров зачастую играет ключевую роль, особенно с учетом влияния эксплуатационных факторов (неравномерности нагруженности, сезонности сельскохозяйственных работ и др.). Эффективные методы диагностирования карданных шарниров позволят обеспечить их рациональное техническое обслуживание, а в конечном итоге – требуемый уровень надежности.

Современные встроенные системы электронной цифровой диагностики выполняют контроль систем двигателя внутреннего сгорания, электрооборудования, гидравлической системы (в том числе гидростатической и гидродинамической трансмиссии). Разработка технологии применения термодиагностики для контроля технического состояния элементов трансмиссий стала актуальной и перспективной задачей [2, 3]. Бесконтактная и непрерывная диагностика элементов механических трансмиссий позволит обеспечить работу цифровых электронных диагностических систем, а также потенциальную возможность осуществления автоматического самообслуживания трансмиссии [4].

Цель исследования – обосновать применение технического диагностирования элементов трансмиссии по величине их тепловыделения.

Материалы и методы. Термодиагностика тепловыделяющих элементов механических трансмиссий основана на зависимости снижения коэффициента полезного действия (КПД) от степени износа в процессе эксплуатации. КПД механической передачи проявляется через количество выделяемой теплоты:

$$Q = N(1 - \eta), \quad (1)$$

где Q – количество выделяемой теплоты, Вт;

N – мощность, передаваемая механической передачей, Вт;

η – коэффициент полезного действия механической передачи.

Реализация метода термодиагностики, с одной стороны, позволяет снизить трудоемкость диагностирования, но с другой, – возникает проблема недостаточной достоверности результатов диагностирования ввиду влияния множества факторов на величину температуры поверхностей исследуемого элемента механической трансмиссии [5]. К таким факторам можно отнести температуру окружающей среды, нагрузочные режимы, тепловыделение от смежных элементов.

В качестве объекта исследования принимаем карданный шарнир неравных угловых скоростей как механизм, содержащий четыре подшипниковых узла с вращающимися осями. Диагностирование подобного механизма в процессе работы традиционными методами (например, вибродиагностика) существенно затруднено, что позволяет применить термодиагностику благодаря возможности бесконтактного измерения температуры [6, 7].

Традиционным методом термодиагностики для карданных шарниров стало наблюдение увеличения скорости приращения температуры подшипниковых узлов, свидетельствующее о механическом заедании или интенсив-

ном износе [8, 9]. Причем динамика изменения температуры повторяет форму классической кривой износа с увеличением скорости изнашивания перед наступлением предельного состояния. На основании известной модели характерной температуры (температуры поверхностного слоя при трении) разработана математическая модель изменения температуры для элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира [10-13]:

$$\Theta = \frac{\delta f M \omega tg\gamma}{4RI \quad \lambda\sqrt{\frac{\alpha(2h+\pi r)}{\lambda \pi r h}} + k_n \rho c 2{,}6 \frac{\sqrt{a}}{\lambda_Д}\sqrt{\sin\gamma\omega r}}, \qquad (2)$$

где Θ– средняя температура нагрева поверхностного слоя, °С; δ – коэффициент распределения теплоты между трущимися телами; f – коэффициент трения скольжения; M – крутящий момент, Нм; ω – угловая скорость, рад/с; γ – угол излома, град; R – средний радиус вращения шипов, м; I – механический эквивалент теплоты; λ – теплопроводность, Вт/м°С; α – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/м^2 °С; h – рабочая высота шипа, м, r – радиус шипа крестовины, м; k_n – коэффициент пропорциональности; ρ – плотность материала, кг/м^3; с – удельная теплоемкость, Дж/кг°С; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с; $\lambda_Д$ – длина волны неровностей на трущейся поверхности, м. В приведенной математической модели (2) не учитывают влияние радиального зазора подшипниковых узлов, а сама модель позволяет определить температуру нагрева при некоем установившемся рабочем режиме. Для определения зависимости между зазором и температурой подшипниковых узлов карданных шарниров КШ 400 по ГОСТ 13758-89 с игольчатыми подшипниками № 804704 провели стендовые ускоренные испытания с контролем динамики изменения температуры и величины изнашивания подшипниковых узлов. Испытательный стенд обеспечивал номинальные режимы нагружения (М = 600 Нм; ω = 104,7 рад/с; γ = 9 град). Периодически измеряли температуру в центрах донышек стаканов подшипниковых узлов при помощи контактного термометра, фиксировали значения температуры окружающей среды и определяли величины радиальных зазоров в каждом из подшипниковых узлов с использованием приспособления и индикатора часового типа.

Результаты и обсуждение. Средние значения температуры подшипниковых узлов карданного шарнира при стендовых испытаниях с учетом температуры окружающей среды, уравнение аппроксимации зависимости в виде полинома 3-й степени и линия тренда представлены на *рисунке 1*.

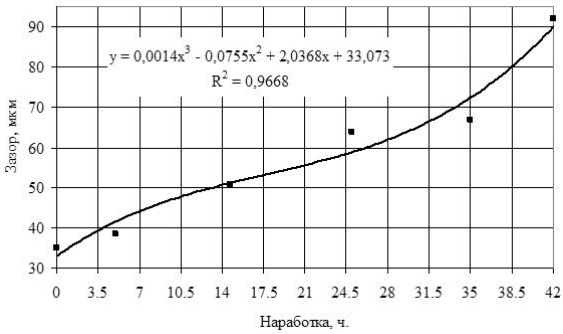


Рис. 1. Результаты наблюдения температуры при стендовых испытаниях

Используя полученное уравнение, определим интервал возрастания и убывания, характеризующий разные этапы работы карданного шарнира (*рис. 1*). Для этого выполним анализ уравнения через получение первой производной линии тренда:

$$y'_t = 0{,}006x_t^2 - 0{,}227x_t + 1{,}75 \tag{3}$$

Приравняв выражение к нулю, получим квадратное уравнение, корни которого определяют значения наработки в начале и конце установившегося режима работы: x_{1t}=10,8 ч, x_{2t}=27,0 ч.

Результаты наблюдения радиального зазора в подшипниковых узлах карданного шарнира, уравнение аппроксимации в виде полинома 3-й степени и линия тренда представлены на *рисунке 2*. Величина достоверности аппроксимации составляет R^2 = 0,9668, что сопоставимо с достоверностью аппроксимации графика *на рисунке 1* (R^2 = 0,9455). Данный факт позволяет применить метод сравнения для двух эмпирических уравнений, представленных н*а рисунках 1 и 2*.

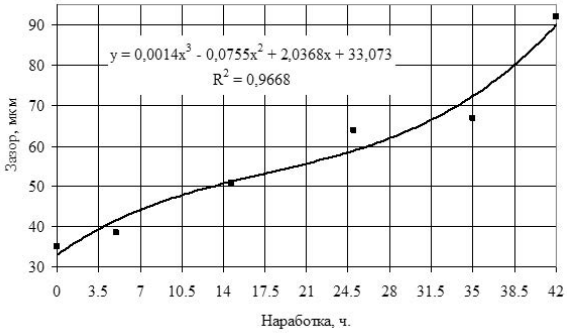


Рис. 2. Результаты наблюдения зазора при стендовых испытаниях

Анализ уравнения проведем путем получения уравнения первой производной для линии тренда:

$$y'_\Delta = 0{,}0042x_\Delta^2 - 0{,}151x_\Delta + 2{,}04 \tag{4}$$

тогда, приравнивая уравнение производной к нулю, получим квадратное уравнение, не имеющее вещественных корней. Поэтому сравнение по интервалам возрастания и убывания не имеет смысла.

Для сравнения упомянутых эмпирических зависимостей получим вторые производные для температуры и износа, соответственно:

$$y''_t = 0{,}012x_t - 0{,}227\,;\ y''_\Delta = 0{,}0084x_\Delta - 0{,}151\,. \tag{5}$$

Корни приведенных уравнений (x_t = 18,9 ч, x_Δ = 18,0 ч) служат точками перегиба кривых для температуры и зазора соответственно. Разница между полученными значениями относительно общего времени испытаний – 42 ч или 2,14%, что позволяет сделать вывод об установленной экспериментальным путем взаимосвязи между величинами зазора и температурой подшипниковых узлов карданного шарнира.

Эмпирическая зависимость температуры подшипниковых узлов карданного шарнира от величины зазора представлена на *рисунке 3*.

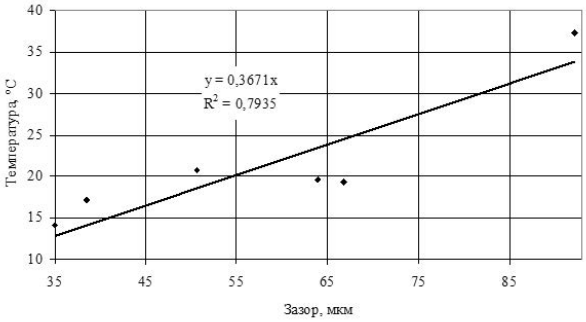


Рис. 3. Эмпирическая зависимость температуры от зазора

Полученная зависимость позволяет учесть влияние зазора в подшипниковых узлах для уравнения (2) и получить значение диагностической температуры $\Theta_Д$:

$$\Theta_Д = \frac{\delta f M \omega tg\gamma}{4RI\left(\lambda\sqrt{\frac{\alpha(2h+\pi r)}{\lambda\pi r h}} + k_n \rho c 2{,}6\frac{\sqrt{a}}{\lambda_Д}\sqrt{\sin\gamma\omega r}\right)} + 0{,}367\Delta, \qquad (6)$$

где $\Theta_Д$ – диагностическая температура, °С; Δ – зазор, мкм.

Выводы. Математический анализ эмпирических зависимостей температуры и износа от наработки для подшипниковых узлов карданных шарниров установил их зависимость по методу сравнения точек перегиба кривых. При этом разница между точками перегиба составила 2,14% от наблюдаемого периода наработки.

Экспериментальные стендовые испытания карданных шарниров выявили влияние зазоров в подшипниковых узлах на их температуру – приращение температуры на 0,367 °С обеспечивается зазором в 1 мкм. На основании полученной зависимости уточнена математическая модель изменения температуры для элементарного тепловыделяющего соединения карданного шарнира.

Эмпирическая зависимость позволяет применять метод термодиагностики для элементов механических трансмиссий с учетом величин зазоров в подшипниковых узлах. Полученная математическая модель поможет разработать и обосновать алгоритмы функционирования цифровых электронных систем диагностирования элементов механических трансмиссий.

Библиографический список

1. Chernoivanov V.I., Ljaljakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Ivanajsky V.V., Koval D.V., Sokolov A.V. Features of wear of agricultural machinery components strengthened by Fe Nb-Fe-B composite boride coatings. Journal of Friction and Wear. 2015. Vol. 36. N2. 132-137.

2. Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г. Цифровой мониторинг состояния парка сельскохозяйственной техники // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы XI Международной научно-практической Интернет-конференции. 2019. С. 256-261.

3. Прогнозно-аналитическое сопровождение инновационного развития в сфере сельского хозяйства. М.: Росинформагротех. 2019. 504 с.

4. Pastukhov A., Timashov E., Parnikova T. Assessment of operability of maintainable

crosspiece. Engineering for Rural Development Proceedings. Jelgava. 2019. 1736-1741.

5. Тимашов Е.П. Совершенствование процессов диагностики узлов трансмиссии автомобилей. Белгород. 2018. 182 с.

6. Ерохин М.Н., Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Оценка износа крестовин шарниров типа CR115, применяемых в тракторах John deere // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 14-21.

7. Erokhin M.N., Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analysis of wear of the cardan cross the joints John Deere tractor. Traktori i pogonske mašine. 2016. Vol. 21. N1. 24-29.

8. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Оценка теплонапряженности агрегатов трансмиссий на основе системного подхода. Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 73-78.

9. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. Monitoring of reliability of agricultural machinery on the basis of methods of thermodiagnostics of drive lines. Traktori i pogonske mašine. 2017. Vol. 22. N1-2. 31-38.

10. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. System approach to assessment of thermal stress of units of transmissions. Applied Engineering Letters. 2017. Vol. 2. N2. 65-68.

11. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint. Traktori i pogonske mašine. 2018. Vol. 23. N1-2. 43-50.

12. Тимашов Е.П. Моделирование температурного режима подшипникового узла карданного шарнира // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. N2(22). С. 87-100.

13. Тимашов Е.П., Пастухов А.Г. Испытательный стенд для карданных шарниров сельскохозяйственной техники // Современные исследования основных направлений гуманитарных и естественных наук: сборник научных трудов международной научно-теоретической конференции. Казанский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО ЦС РФ «Российский университет кооперации». 2017. С. 140-144.

References

1. Chernoivanov V.I., Ljaljakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Ivanajsky V.V., Koval D.V., Sokolov A.V. Features of wear of agricultural machinery components strengthened by Fe Nb-Fe-B composite boride coatings. Journal of Friction and Wear. 2015. Vol. 36. N2. 132-137.

2. Gol'tyapin V.Ya., Golubev I.G. Tsifrovoy monitoring sostoyaniya parka sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Digital monitoring of the state of agricultural machinery park]. Nauchno-informatsionnoye obespecheniye innovatsionnogo razvitiya APK: materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy Internet-konferentsii. 2019. 256-261 (In Russian).

3. Prognozno-analiticheskoye soprovozhdeniye innovatsionnogo razvitiya v sfere sel'skogo khozyaystva [Forecasting and analytical support of innovative development in agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 504 (In Russian).

4. Pastukhov A., Timashov E., Parnikova T. Assessment of operability of maintainable crosspiece . Engineering for Rural Development Proceedings. Jelgava. 2019. 1736-1741.

5. Timashov E.P. Sovershenstvovaniye protsessov diagnostiki uzlov transmissii avtomobiley [Improvement of diagnostic processes of car transmission units]. Belgorod. 2018. 182 (In Russian).

6. Erokhin M.N., Pastukhov A.G., Timashov E.P. Otsenka iznosa krestovin sharnirov tipa CR115, primenyayemykh v traktorakh John deere [Wear assessment of CR 115 type cross joints used in John Deere tractors]. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 126. 14-21 (In Russian).

7. Erokhin M.N., Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analysis of wear of the cardan cross the joints John Deere tractor. Traktori i pogonske mašine. 2016. Vol. 21. N1. 24-29.

8. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Otsenka teplonapryazhennosti agregatov transmissiy na osnove sistemnogo podkhoda [Estimation of heat stress of transmission units on the

basis of system approach]. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 129. 73-78 (In Russian).

9. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. Monitoring of reliability of agricultural machinery on the basis of methods of thermodiagnostics of drive lines. Traktori i pogonske mašine. 2017. Vol. 22. N1-2. 31-38.

10. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Parnikova T. System approach to assessment of thermal stress of units of transmissions. Applied Engineering Letters. 2017. Vol. 2. N2. 65-68.

11. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint. Traktori i pogonske mašine. 2018. Vol. 23. N1-2. 43-50.

12. Timashov E.P. Modelirovaniye temperaturnogo rezhima podshipnikovogo uzla kardannogo sharnira [Simulation of the temperature mode of the bearing unit of the cardan joint] // Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. 2019. N2(22). 87-100 (In Russian).

13. Timashov E.P., Pastukhov A.G. Ispytatel'nyy stend dlya kardannykh sharnirov sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Test bench for agricultural machinery cardan joints]. Sovremennyye issledovaniya osnovnykh napravleniy gumanitarnykh i estestvennykh nauk: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii. Kazanskiy kooperativnyy institut (filial) ANO OVO TSS RF «Rossiyskiy universitet kooperatsii». 2017. 140-144.

УДК 621.521

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ПАР ТРЕНИЯ ВАКУУМНОГО НАСОСА

Анатолий Тимофеевич Лебедев, доктор технических наук, профессор;
Роман Владимирович Павлюк, кандидат технических наук, доцент;
Антон Викторович Захарин, кандидат технических наук, доцент, e-mail: anton-zaharin@mail.ru;
Павел Анатольевич Лебедев, кандидат технических наук, доцент
Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Реферат. *Снижение производительности в результате длительной непрерывной эксплуатации и низкая межремонтная наработка – основные недостатки вакуумных насосов пластинчатого типа. Для устранения подобных недостатков предложили конструкцию вакуумного насоса пластинчатого типа, отличительными особенностями которой стала постановка выполненных их антифрикционного материала фторопласт-4 торцевых пластин, вращающихся совместно с ротором. (Цель исследования) Выявить закономерности изменения скорости изнашивания пар трения серийного и модернизированного насосов в зависимости от таких параметров, как скорость относительного перемещения, давление и концентрация абразива в зоне контакта. (Материалы и методы) Исследовали следующие пары трения: чугун-текстолит, чугун-фторопласт, текстолит-фторопласт. Использовали в парах трения фторопласт марки Ф-4, чугун марки СЧ-18-32 и текстолит марки ПТ-8. Осуществили многофакторный активный эксперимент с помощью трехуровневого плана второго порядка Бокса-Бенкина для трех факторов. (Результаты и обсуждение) Определили, что с увеличением скорости относительного перемещения υ контактирующих поверхностей пар трения и давления в зоне их контакта P повышается и скорость изнашивания для всех рассматриваемых вариантов. Выявили, что износостойкость образцов пар трения чугун-фторопласт и текстолит-фторопласт в 3-3,5 раза выше, чем образца пары трения чугун-текстолит. (Выводы) Обработка данных показала, что использование фторопласта в парах трения целесообразно, так как данные пары обладают меньшей скоростью изнашивания в 2,3-2,9 раз со смазкой, а без смазки в 2-3,1 раза по сравнению с парой трения серийного насоса чугун-текстолит для всех рассматриваемых вариантов. Рекомендовали использование материала «Фторопласт» марки Ф-4 для изготовления торцевой пластины модернизированного вакуумного насоса пластинчатого типа.*

Ключевые слова: *вакуумный насос пластинчатого типа, пара трения, скорость изнашивания, чугун, текстолит, фторопласт.*

Для цитирования: *Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Захарин А.В., Лебедев П.А. Результаты проведения многофакторного эксперимента по определению скорости изнашивания пар трения вакуумного насоса // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 76-82.*

RESULTS OF A MULTI-FACTOR EXPERIMENT FOR DETERMINING THE WEARING OF THE FRICTION PAIR OF A VACUUM PUMP

Anatoliy T. Lebedev, Dr. Sc. (Eng.), professor;
Roman V. Pavlyuk, PhD (Eng.), associate professor;
Anton V. Zakharin, PhD (Eng.), associate professor;
Pavel A. Lebedev, PhD (Eng.), associate professor
Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract*. Reduced performance because of long-term continuous operation and low time between failures are the main disadvantages of plate-type vacuum pumps. To eliminate such shortcomings, authors propose the design of a vacuum pump of the plate type, the distinctive features of which is making the end plates from fluoroplastic-4, rotating together with the rotor. (Research purpose) The research purpose is identifying of changes in the wear rate of friction pairs of serial and upgraded pumps depending on such parameters as the speed of relative movement, pressure and concentration of abrasive in the contact zone. (Materials and methods) The following friction pairs were studied: cast iron with textolite, cast iron with fluoroplastic, textolite with fluoroplastic. Authors used F-4 fluoroplastic in friction pairs, SCH-18-32 cast iron and PT-8 textolite. Authors have carried out a multifactorial active experiment using a three-level second-order Box-Benkin plan for three factors. (Results and discussion) As a result of study, authors have found that, with increasing speed of relative movement of the two contacting friction surfaces pairs and pressure in the zone of their contact, increases the wear rate for all considered options. It was revealed that the wear resistance of samples of friction pairs of cast iron with fluoroplastic and textolite with fluoroplastic is 3-3.5 times higher than the sample of friction pair of cast iron with textolite. (Conclusion) After processing experimental data, authors have found that the use of fluoroplastic in friction pairs is advisable, since these pairs have a lower wear rate of 2.3-2.9 times with lubrication, and wear rate of 2-3,1 lower when used without lubrication compared to the friction pair of the serial cast iron with textolite pump for all considered variants. Authors recommend to use F-4 fluoroplastic for the manufacture of the end plate of the upgraded vacuum pump of plate type.*

Keywords*: plate-type vacuum pump, friction pair, wear rate, cast iron, textolite, fluoroplastic.*

For citation: *Lebedev A.T., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A. Rezul'taty provedeniya mnogofaktornogo eksperimenta po opredeleniyu skorosti iznashivaniya par treniya vakuumnogo nasosa [Results of a multi-factor experiment for determining the wearing of the friction pair of a vacuum pump]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 76-82(In Russian).*

Введение. В настоящее время вакуум стал неотъемлемой частью большинства технологических процессов современного производства, таких как упаковка, формовка, транспортировка, привод станочного оборудования и многие другие. Для создания вакуума используют вакуумные насосы различного конструктивного исполнения, но в последние годы наибольшее распространение получили вакуумные насосы пластинчатого типа (ВНПТ). Это является следствием их преимуществ, таких как равномерность откачки, высокий удельный КПД и простота конструкции. При этом, несмотря на широкий модельный ряд данных насосов и на большое количество про-

изводителей, основными их недостатками являются снижение производительности в результате длительной непрерывной эксплуатации и низкая межремонтная наработка (в среднем до 1000 часов).

Работы, направленные на устранение этих недостатков, ведутся с середины XX в. и по сегодняшний день, однако существенных результатов получено не было. В общем виде эти работы можно разделить на два подхода. Первый – это теоретические исследования оптимальных режимов и условий эксплуатации насосов. Второй – модернизация конструктивного исполнения ВНПТ. Первый подход принципиально не решает проблему, а лишь незначительно позволяет снизить эксплуатационные затраты. Основные факторы, влияющие на работу вакуумных насосов пластинчатого типа и теоретические исследования причин их нестабильной работы, были изложены Н.И. Мжельским еще во второй половине прошлого века [1].

Работы по модернизации конструкций ВНПТ идут более интенсивно. Предпринимали попытки кардинального изменения конструкции вакуумного насоса пластинчатого типа с сохранением лишь принципа действия, однако данная конструкция не получила широкого распространения ввиду ее сложности [2]. В настоящее время совершенствование конструкций в основном заключается в применении новых материалов и технологий при изготовлении деталей насосов. Это позволяет повысить межремонтную наработку насоса только лишь за счет увеличения прочности и износостойкости деталей. Наиболее перспективной в этом отношении стала конструкция вакуумного насоса пластинчатого типа, изложенная в патенте РФ №2333392 [3]. Ее отличительные особенности – использование выполненных их антифрикционного материала «Фторопласт-4» торцевых пластин, вращающихся совместно с ротором.

Данная модернизация позволяет полностью устранить торцевые перетекания газа, что способствует значительному увеличению межремонтной наработки и стабильности подачи при длительной непрерывной эксплуатации. Однако для подтверждения целесообразности данной модернизации с точки зрения износостойкости рабочих органов насоса необходимо провести ряд экспериментальных исследований по определению скорости изнашивания пар трения как серийных насосов, так и предлагаемых в зависимости от различных эксплуатационных параметров.

Цель исследования – выявить закономерности изменения скорости изнашивания пар трения серийного и модернизированного насосов в зависимости от таких параметров, как скорость относительного перемещения, давление и концентрация абразива в зоне контакта.

Материалы и методы. В качестве исследуемых пар трения выбрали: чугун – текстолит (Ч-Т), чугун – фторопласт (Ч-Ф), текстолит – фторопласт (Т-Ф). В парах трения используют фторопласт марки Ф-4 (предлагаемый материал для изготовления торцевых пластин согласно патенту РФ №2333392), чугун марки СЧ-18-32 и текстолит марки ПТ-8 (наиболее распространенные материалы для изготовления боковых крышек и лопаток большинства ВНПТ). Образцы пар трения, выполненные из текстолита, перед установкой пропитывали маслом М-10В2 (ГОСТ 1861-73) в течение 90 минут при температуре 120°С.

На износостойкость исследуемых пар трения влияет множество факторов, однако теоретические и экспериментальные исследования позволили установить наиболее значимые из них [4-6]:

X1 – скорость относительного перемещения υ, м/с (от 2 до 15 м/с, диапазон выбран на основе теоретических расчетов [6]);

X2 – давление в зоне контакта пары трения P, Па (от 52 до 84 Па, соответствует давлению лопатки на корпус при работе насоса);

X3 – концентрация абразива C_a, % (от 0 до 10% диапазон соответствует интервалу от идеально чистой до сильно загрязненной среды).

Для проведения многофакторного эксперимента применили трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина для трех факторов варьирования, относящийся к группе *D*-оптимальных планов. Основное преимущество *D*-оптимальных планов заключается в том, что они минимизируют обобщенную дисперсию.

В качестве параметра оптимизации (функция отклика) выбрали скорость изнашивания исследуемых пар трения (γ).

Величина концентрации смазки в паре трения – трудно управляемый параметр, поэтому для исследуемых пар трения скорость изнашивания γ определяли как со смазкой (*С*), так и без нее (*Б*).

В эксперимент включали три вышеуказанных фактора, для каждого из них установили верхний, нижний и основной уровень варьирования (*табл. 1*).

Таблица 1

Варьирование факторов в эксперименте

Показатель	Кодированное обозначение	Наименование факторов и их величина					
		Без смазки			Со смазкой		
		Скорость относительного перемещения, м/с	Давление в зоне контакта, Па	Наличие абразива, %	Скорость относительного перемещения, м/с	Давление в зоне контакта, Па	Наличие абразива, %
Верхний уровень	+1	15	84	10	15	84	10
Основной уровень	0	8,5	68	5	8,5	68	5
Нижний уровень	-1	2	52	0	2	52	0
Интервал варьирования	X	6,5	16	5	6,5	16	5

При проведении многофакторного эксперимента использовали для исследований машину трения МТУ-01. Для контроля износа образцов пар трения применяли весовой метод согласно ГОСТ 27860-88.

Предварительно исследуемые образцы пар трения притирали друг к другу, после чего их подвергали мойке, сушке и взвешиванию.

Данные по износам пар трения снимали каждые 1000 циклов. Эксперимент проводили в трехкратной повторности.

Результаты и обсуждение. Обработка экспериментальных данных, согласно общепринятой методике, позволила получить функции отклика параметра оптимизации в виде полинома первой степени [7]. В раскодированном виде уравнения регрессии можно записать как:

$$\gamma_{Ч\text{-}Т\text{-}С} = 0{,}2074 - 0{,}0048\upsilon + 0{,}0008P + 0{,}0032Ca + 0{,}0002\upsilon P + 0{,}0006\upsilon Ca, \quad (1)$$

$$\gamma_{Ч\text{-}Ф\text{-}С} = 0{,}0647 - 0{,}0015\upsilon + 0{,}0006P + 0{,}0013Ca + 0{,}0001\upsilon P + 0{,}0003\upsilon Ca, \quad (2)$$

$$\gamma_{Т\text{-}Ф\text{-}С} = 0{,}0488 - 0{,}0013\upsilon + 0{,}0005P + 0{,}001Ca + 0{,}0001\upsilon P + 0{,}0002\upsilon Ca, \quad (3)$$

$$\gamma_{Ч\text{-}Т\text{-}Б} = 0{,}3604 - 0{,}0163\upsilon + 0{,}0013P + 0{,}0051Ca + 0{,}00045\upsilon P + 0{,}001\upsilon Ca, \quad (4)$$

$$\gamma_{Ч\text{-}Ф\text{-}Б} = 0{,}1309 - 0{,}0046\upsilon + 0{,}001P + 0{,}002Ca + 0{,}0002\upsilon P + 0{,}0005\upsilon Ca, \quad (5)$$

$$\gamma_{Т\text{-}Ф\text{-}Б} = 0{,}0821 - 0{,}0028\upsilon + 0{,}0006P + 0{,}0016Ca + 0{,}0001\upsilon P + 0{,}0003\upsilon Ca. \quad (6)$$

Символы «*С*» и «*Б*» в нижнем индексе параметра оптимизации γ, обозначают наличие или отсутствие смазки соответственно.

На основании данных зависимостей рассчитали скорости изнашивания всех исследуемых пар трения при любом сочетании рассматриваемых факторов как со смазкой, так и без нее (*табл. 2*).

Таблица 2

Скорость изнашивания исследуемых пар трения

Факторы			со смазкой			без смазки			коэффициенты относительности γ						
			1	2	3	4	5	6	со смазкой		без смазки		Ч-Т	Ч-Ф	Т-Ф
X1, P	X2, C	X3, υ	Ч-Т	Ч-Ф	Т-Ф	Ч-Т	Ч-Ф	Т-Ф	k12	k13	k45	k46	k14	k25	k36
X1=-1	X2=-1	X3=-1	0,266	0,104	0,082	0,435	0,19	0,122	2,558	3,244	2,289	3,566	0,611	0,547	0,672
		X3=0	0,316	0,13	0,103	0,459	0,222	0,146	2,431	3,068	2,068	3,144	0,688	0,586	0,705
		X3=1	0,366	0,156	0,124	0,483	0,254	0,17	2,346	2,952	1,902	2,841	0,758	0,614	0,729
	X2=0	X3=-1	0,288	0,113	0,089	0,47	0,205	0,133	2,549	3,236	2,293	3,534	0,613	0,551	0,669
		X3=0	0,358	0,148	0,117	0,525	0,253	0,167	2,419	3,060	2,075	3,144	0,682	0,585	0,701
		X3=1	0,428	0,183	0,145	0,58	0,301	0,201	2,339	2,952	1,927	2,886	0,738	0,608	0,721
	X2=1	X3=-1	0,31	0,122	0,096	0,505	0,22	0,144	2,541	3,229	2,295	3,507	0,614	0,555	0,667
		X3=0	0,4	0,166	0,131	0,591	0,284	0,188	2,410	3,053	2,081	3,144	0,677	0,585	0,697
		X3=1	0,49	0,21	0,166	0,677	0,348	0,232	2,333	2,952	1,945	2,918	0,724	0,603	0,716
X1=0	X2=-1	X3=-1	0,287	0,117	0,093	0,468	0,211	0,136	2,453	3,086	2,218	3,441	0,613	0,555	0,684
		X3=0	0,362	0,154	0,123	0,532	0,262	0,173	2,351	2,943	2,031	3,075	0,680	0,588	0,711
		X3=1	0,437	0,191	0,153	0,596	0,313	0,21	2,288	2,856	1,904	2,838	0,733	0,610	0,729
	X2=0	X3=-1	0,309	0,126	0,1	0,503	0,226	0,147	2,452	3,090	2,226	3,422	0,614	0,558	0,680
		X3=0	0,404	0,172	0,137	0,598	0,293	0,194	2,349	2,949	2,041	3,082	0,676	0,587	0,706
		X3=1	0,499	0,218	0,174	0,693	0,36	0,241	2,289	2,868	1,925	2,876	0,720	0,606	0,722
	X2=1	X3=-1	0,331	0,135	0,107	0,538	0,241	0,158	2,452	3,093	2,232	3,405	0,615	0,560	0,677
		X3=0	0,446	0,19	0,151	0,664	0,324	0,215	2,347	2,954	2,049	3,088	0,672	0,586	0,702
		X3=1	0,561	0,245	0,195	0,79	0,407	0,272	2,290	2,877	1,941	2,904	0,710	0,602	0,717
X1=1	X2=-1	X3=-1	0,308	0,13	0,104	0,501	0,232	0,15	2,369	2,962	2,159	3,340	0,615	0,560	0,693
		X3=0	0,408	0,178	0,143	0,605	0,302	0,2	2,292	2,853	2,003	3,025	0,674	0,589	0,715
		X3=1	0,508	0,226	0,182	0,709	0,372	0,25	2,248	2,791	1,906	2,836	0,717	0,608	0,728
	X2=0	X3=-1	0,33	0,139	0,111	0,536	0,247	0,161	2,374	2,973	2,170	3,329	0,616	0,563	0,689
		X3=0	0,45	0,196	0,157	0,671	0,333	0,221	2,296	2,866	2,015	3,036	0,671	0,589	0,710
		X3=1	0,57	0,253	0,203	0,806	0,419	0,281	2,253	2,808	1,924	2,868	0,707	0,604	0,722
	X2=1	X3=-1	0,352	0,148	0,118	0,571	0,262	0,172	2,378	2,983	2,179	3,320	0,616	0,565	0,686
		X3=0	0,492	0,214	0,171	0,737	0,364	0,242	2,299	2,877	2,025	3,045	0,668	0,588	0,707
		X3=1	0,632	0,28	0,224	0,903	0,466	0,312	2,257	2,821	1,938	2,894	0,700	0,601	0,718
Среднее значение коэффициентов относительности									2,369	2,978	2,065	3,130	0,671	0,583	0,703

Дополнительно в т*аблицу 2* были добавлены коэффициенты относительности, представляющие собой отношение соответствующих столбцов. Коэффициенты k12, k13 и k45, k46 характеризуют снижение скорости изнашивания серийной пары трения Ч-Т к предлагаемым Ч-Ф и Т-Ф в условиях смазки и без нее соответственно. Коэффициенты k14, k25, k36 показывают эффективность применения смазки в соответствующих парах трения. Данные коэффициенты более наглядно показывают снижение скорости изнашивания для рассматриваемых пар трения, что обеспечивает наибольшую информативность.

Подробный анализ полученных данных для частных вариантов при конкретных значениях параметров варьирования представлен в следующих работах авторов [7-10].

Обобщенный анализ данных таблицы 2 позволил выявить следующие закономерности:

1. С увеличением скорости относительного перемещения υ контактирующих поверхностей пар трения и давления в зоне их контакта P повышается и скорость изнашивания для всех рассматриваемых вариантов. При этом износостойкость пар трения Ч-Ф и Т-Ф выше в 3-3,5 раза, чем пары трения Ч-Т.

2. Отсутствие смазки оказывает более сильное влияние (39-45%) на снижение относительной износостойкости в паре трения Ч-Ф. Это объясняется тем, что в условиях отсутствия смазки, шероховатость на поверхности

чугуна выступает в роли «пилы», что способствует срезанию слоя фторопласта. В присутствии смазки же поверхность чугуна выравнивается, и, как следствие, значительно снижается скорость изнашивания.

Выводы. Обработка данных показала, что использование материала «Фторопласт» в парах трения, является целесообразным, так как данные пары обладают меньшей скоростью изнашивания в 2,3-2,9 раз со смазкой, а без смазки в 2-3,1 раза по сравнению с парой трения серийного насоса Ч-Т для всех рассматриваемых вариантов. Использование фторопласта марки Ф-4 для изготовления торцевой пластины модернизированного ВНПТ является обоснованным.

Библиографический список

1. Мжельский Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок. М.: Машиностроение. 1974. 152 с.

2. Гуков А.П., Краснов И.Н. Некоторые результаты экспериментальных исследований вакуумного насоса с вращающимся корпусом // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. Зерноград. 2002. Вып. 4. С. 41-44.

3. Ротационный пластинчатый компрессор: пат. 2333392 Рос. Федерация. N 2007108890/06 / Лебедев А.Т., Захарин А.В., Слюсарев А.С.; заявл. 09.03.2007; опубл. 10.09.2008. Бюл. N25. 5 с.

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

5. Лебедев А.Т., Захарин А.В. Надежность и эффективность вакуумных насосов. Ставрополь: Ставропольский ГАУ. 2013. 121 с.

6. Захарин А.В. Повышение эффективности работы вакуумных насосов пластинчатого типа модернизацией конструкции при ремонте: дисс. …канд. техн. наук. Зерноград. 2012. 164 с.

7. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Изд. 2-е перераб. и доп. Л.: Колос. 1980. 168 с.

8. Zakharin A., Lebedev A., Pavlyuk R., Lebedev P. Relative wearing resistance of vapor friction rotation vacuum pumps. Engineering for Rural Development. 2018. Vol. 17. 97-101.

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

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

References

1. Mzhel'skiy N.I. Vakuumnyye nasosy dlya doil'nykh ustanovok [Vacuum pumps for milking machines]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1974. 152 (In Russian).

2. Gukov A.P., Krasnov I.N. Nekotoryye rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy vakuumnogo nasosa s vrashchayushchimsya korpusom [Some results of experimental studies of a vacuum pump with a rotating body]. Sovershenstvovaniye protsessov i tekhnicheskikh sredstv v APK. Zernograd. 2002. Iss. 4. 41-44 (In Russian).

3. Rotatsionnyy plastinchatyy kompressor: pat. 2333392 Ros. Federatsiya. [Rotary

plate-type compressor: Pat. 2333392 Russian Federation. N 2007108890/06] Lebedev A.T., Zakharin A.V., Slyusarev A.S.; zayavl. 09.03.2007; opubl. 10.09.2008. Byul. N25. 5 (In Russian).

4. Zakharin A.V. Povysheniye effektivnosti raboty vakuumnogo nasosa plastinchatogo tipa modernizatsiyey konstruktsii pri remonte: avtoref. dis. … kand. tekhn. Nauk [Improving the efficiency of the vacuum pump of plate type design by modernization during repair: autoref. dis. ... cand. tech. sciences]. Stavropol'. 2012. 21 (In Russian).

5. Lebedev A.T., Zakharin A.V. Nadezhnost' i effektivnost' vakuumnykh nasosov [Reliability and efficiency of vacuum pumps]. Stavropol': Stavropol'skiy GAU. 2013. 121 (In Russian).

6. Zakharin A.V. Povysheniye effektivnosti raboty vakuumnykh nasosov plastinchatogo tipa modernizatsiyey konstruktsii pri remonte: diss. …kand. tekhn. Nauk [Improving the efficiency of the vacuum pump of plate type design by modernization during repair: dis. ... cand. tech. sciences]. Zernograd. 2012. 164 (In Russian).

7. Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov [Experiment planning in researches of agricultural processes]. 2nd iss. rev. and augm. Leningrad: Kolos.1980. 168 (In Russian).

8. Zakharin A., Lebedev A., Pavlyuk R., Lebedev P. Relative wearing resistance of vapor friction rotation vacuum pumps. Engineering for Rural Development. 2018. Vol. 17. 97-101.

9. Blagova O., Lebedev A.T., Zakharin A.V., Lebedev P.A. Issledovaniye iznosostoykosti par treniya seriynykh i modernizirovannykh vakuumnykh nasosov plastinchatogo tipa [Studying of wear resistance of friction pairs of serial and modernized vacuum pumps of plate type]. Trudy GOSNITI. 2014. Vol. 116. 11-15 (In Russian).

10. Kobozev M.A., Mar'in N.A., Pavlyuk R.V., Lebedev P.A., Zakharin A.V., Lebedev A.T. Pokazateli otnositel'noy iznosostoykosti osnovnykh par treniya seriynykh i modernizirovannykh vakuumnykh nasosov plastinchatogo tipa [Indicators of relative wear resistance of the main friction pairs of serial and modernized vacuum pumps of plate type].Nauchnoye obozreniye. 2016. N22. 95-99 (In Russian).

УДК 631.3:681.586.782

ПРОЕКТ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕСУРСООПРЕДЕЛЯЮЩИХ УЗЛОВ КОРОБОК ПЕРЕМЕНЫ ПЕРЕДАЧ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Алексей Семёнович Дорохов, член-корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук, профессор;
Михаил Николаевич Костомахин;
Николай Алексеевич Петрищев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Игорь Михайлович Макаркин, старший научный сотрудник;
Александр Сергеевич Саяпин, младший научный сотрудник;
Ирина Борисовна Ивлева, ведущий специалист,
e-mail: gosniti14@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Внедрение цифровой системы диагностирования КПП снизит издержки при проведении регламентных сервисных работ, в том числе находящейся в лизинге техники. (Цель исследования). Повысить оперативность и достоверность диагностических данных при определении технического состояния ресурсоопределяющих узлов мобильных энергетических средств внедрением цифровых систем диагностирования с возможностью отслеживания динамики изменения диагностических параметров в процессе эксплуатации для выявления и детализации намечающихся отклонений от номинальных параметров; исследовать степень их несоответствия для обеспечения исходной информацией как производителя, так и сервисной службы дилера. (Материалы и методы) Установили, что интеграционная направленность исследования позволяет совершенствовать методики и средства для бесконтактной оценки технического состояния, получать информацию для расчета остаточного ресурса при использовании прямых измерений при непрерывном наблюдении за фактическим изменением диагностических параметров. Рекомендовали внедрять цифровую систему технического состояния на стадиях сборки и испытания коробки перемены передач в стационарных условиях для получения более достоверных исходных данных. (Результаты и обсуждение) Показали возможность использования цифровой системы для контроля технического состояния ресурсоопределяющих узлов коробок перемены передач для определения геометрических характеристик осевого и радиального перемещения бустеров гидроподжимных муфт, механизма переключения передач, а также изменения динамики параметров давления и температуры рабочей жидкости в процессе эксплуатации трактора на примере КПП К-700 А. Определили, что необходим контроль по фактическому состоянию и нахождению диагностических параметров в номинальном и допускаемых значениях в гарантийный и постгарантийный периоды эксплуатации. (Выводы) В условиях*

развития фирменных товаропроводящих дилерских сетей с целью повышения конкурентоспособности перед конечными потребителями остро стоит вопрос адаптации узлов энергосредств к современным способам контроля. Выпускаемая и эксплуатируемая техника должна сопровождаться современными средствами и методиками для бесконтактного определения технического состояния ресурсоопределяющих узлов и агрегатов для получения объективной картины технического состояния.

Ключевые слова: *коробка перемены передач, бесконтактное измерение, ведущий вал, механизм переключения передач, бустер гидроподжимной муфты, трактор.*

Для цитирования: *Дорохов А.С., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Макаркин И.М., Саяпин А.С., Ивлева И.Б. Проект цифровой системы для диагностирования ресурсоопределяющих узлов коробок перемены передач с гидравлическим управлением мобильных энергетических средств // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 83-95.*

DESIGN OF DIGITAL SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF RESOURCE-DETERMINING UNITS OF GEAR BOXES WITH HYDRAULIC CONTROL OF MOBILE POWER MEANS

Aleksey S. Dorokhov, corresponding member of Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. (Eng.), professor;
Mikhail N. Kostomakhin;
Nikolay A. Petrishchev, PhD (Eng.), leading researcher;
Igor' M. Makarkin, senior researcher;
Aleksandr S. Sayapin, junior researcher;
Irina B. Ivleva, leading specialist

Abstract. The introduction of a digital system for diagnosing of gearbox will reduce costs during routine maintenance, including leased equipment. (Research purpose). The research purpose is in increasing the efficiency and reliability of diagnostic data in determining the technical condition of resource-determining units of mobile power facilities by the introduction of digital diagnostic systems with the ability to track the dynamics of changes in diagnostic parameters during operation to identify and detail the planned deviations from the nominal parameters; studying the extent of their inconsistency to provide background information to both the manufacturer and the dealer service. (Materials and methods) Authors have found that the integration focus of the study allows improving methods and tools for non-contact assessment of technical condition, obtaining information for calculating the residual life when using direct measurements with continuous observation of the actual change in diagnostic parameters. It was recommended to implement a digital system of technical condition at the stages of assembly and testing of the gearbox in stationary conditions to obtain more reliable initial data. (Results and discussion) The article shows the possibility of using a digital system for monitoring the technical condition of resource-determining units of gearboxes for determining the geometric characteristics of the axial and radial movement of hydraulic booster couplings, gear shifting mechanism, as well

as changes in the dynamics of the parameters of pressure and temperature of the working fluid in the operation of the tractor on the example of the K-700A gearbox. It was determined that it is necessary to monitor the actual condition and finding diagnostic parameters in nominal and permissible values in the warranty and post-warranty periods of operation. (Conclusion) In the conditions of development of branded distribution dealer networks in order to increase competitiveness, the final consumers are faced with the issue of adaptation of energy facilities units to modern methods of control. Produced and operated equipment should be accompanied by modern means and techniques for non-contact determination of the technical condition of resource-determining units and assemblies to obtain an objective picture of the technical condition.

Keywords: *gearbox, contactless measurement, leading shaft, gear controls, booster of hudraulic clutch, tractor.*

For citation: *Dorokhov A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Makarkin I.M., Sayapin A.S., Ivleva I.B. Proyekt tsifrovoy sistemy dlya diagnostirovaniya resursoopredelyayushchikh uzlov korobok peremeny peredach s gidravlicheskim upravleniyem mobil'nykh energeticheskikh sredstv [Design of digital system for diagnostics of resource-determining units of gear boxes with hydraulic control of mobile power means]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 83-95(In Russian).*

Введение. Значительный рост производства отечественных мобильных энергетических средств выдвигает более высокие требования к их сервисной поддержке, в том числе за счет внедрения новых способов – цифровых систем для оценки технического состояния. Это обусловлено тем, что простои дорого обходятся конечным потребителям и приводят к дополнительным убыткам в связи с невыполнением агротехнических сроков выполнения сельскохозяйственных операций. Необходимо также отметить, что по вводимому в 2019 г. техническому регламенту таможенного союза ТР ТС 031/2012 (приложение 4) включен для обязательного исполнения ГОСТ 27388-87, где указано, что в руководстве по эксплуатации, поставляемом с каждым изделием, должны быть приведены возможные неисправности и методы их устранения, а также данные по рекомендуемым регулировкам [1]. Согласно пунктам 5.1, 5.9, 5.10 данного ГОСТ для выполнения работ по техническому обслуживанию нужно выполнить полный перечень работ по ресурсному диагностированию, привести наименования, модели оборудования, приборов, инструментов, приспособлений. Чаще всего причиной отказов и неисправностей узлов ведущего вала коробок перемены передач служит нарушение правил эксплуатации, низкая приспособленность к диагностированию, контролепригодность узлов трансмиссии для оценки технической готовности. Это повышает риски появления отказов II и III групп в гарантийный и постгарантийные периоды эксплуатации; увеличивает издержки при проведении регламентных сервисных работ, в том числе техники, находящейся в лизинге. Ввиду положительных отзывов и востребованной актуальности темы, указанной нашим потенциальным партнером – АО «Петербургский тракторный завод», – объектом работы стала разработка проекта цифровой системы диагностирования технического состояния узлов ведущего вала коробок перемены передач выпускаемых и эксплуатирующихся в сельском хозяйстве и промышленности мобильных энергетических средств семейства «Кировец».

Цель исследования – повысить оперативность и достоверность диагностических данных при определении технического состояния ресурсоопределяющих узлов мобильных энергетических средств внедрением цифровых систем диагностирования с возможностью отслеживания динамики изменения диагностических параметров в процессе эксплуатации для выявления и детализации намечающиеся отклонений от номинальных параметров; исследовать степень их несоответствия для обеспечения исходной информацией как производителя, так и сервисной службы дилера.

Диагностирование энегросредств, выполненное с использованием встроенных бесконтактных индикаторных систем контроля, позволяет определять текущее техническое состояние ресурсоопределяющих узлов, агрегатов, механизмов и систем машины без их разборки в режиме эксплуатации и предупреждать оператора и сервисную службу об изменении технического состояния, тем самым предотвращая и минимизируя риски появления внезапных отказов. Это значительно снизит время простоя машины, обеспечит существенную экономию средств на ее обслуживание и ремонт. Отсутствие должного контроля и проверки качества ремонта лишь дискредитирует и лишает конкурентных преимуществ, а также минимизирует потребительские качества продукции отечественной техники в глазах современного потребителя. Для повышения уровня сервисных услуг необходимо внедрение встроенных цифровых систем диагностирования и повышение квалификации персонала, эксплуатирующего технику. Для получения объективной информации о техническом состоянии узлов и агрегатов техники, определяющих ресурс при эксплуатации, необходимо при их техническом обслуживании (ТО) проводить операции диагностирования, а в некоторых случаях – и углубленного диагностирования. Применение методов и средств технического диагностирования дает определенную экономическую выгоду, заключающуюся в увеличении наработки на сложный отказ, минимизацию сверхнормативных затрат на поддержание тракторов и самоходных машин в работоспособном состоянии. Коробки перемены передач (КПП) трактора «Кировец» серии К-7 и их модификации обладают особенностями конструктивного расположения и функционирования, и надежность их работы оказывает существенное влияние на эффективность работы трактора, поэтому требуется тщательный подход к получению достоверных данных о техническом состоянии в период эксплуатации. Для постановки объективного диагноза необходимо обеспечить оператора (диагноста) оптимальным объемом данных. При этом минимизировать затраты времени на проверку может только заложенная при конструировании и изготовлении на заводе-производителе контролепригодность и приспособленность агрегатов к диагностированию. По нашему мнению, при дальнейшем совершенствовании, модернизации конструкции необходимо обеспечить возможность оценки оператором (диагностом) общего текущего технического состояния, а затем и углубленного диагностирования при проведении регламентного технического обслуживания гидравлической системы управления передачами, текущего ремонта узлов ведущего вала: фрикционных дисков, подшипников, уплотнений бустеров.

При изготовлении и сервисном обслуживании агрегатов трансмиссии мобильных энергетических средств используют комплекс стендов и средств контроля качества продукции в стационарных условиях [1, 2]. Из-за произошедших в последнее время позитивных изменений в организации произ-

водства и сбыта тракторов АО «Петербургский тракторный завод» постоянно совершенствует производство для обеспечения конкурентных преимуществ и снижения эксплуатационных издержек конечного потребителя.

Наиболее оптимальным и быстрореализуемым предложением стало использование цифровых систем для диагностирования, которые, в свою очередь, имеют возможность отслеживания динамики изменения диагностических параметров в процессе эксплуатации [3, 4]. Это позволит выявлять и детализировать зарождающиеся отклонения от номинальных параметров, исследовать степень их несоответствия для обеспечения исходной информации производителя, сервисной службы дилера и лизингодателя для создания фирменной системы оценки технического состояния продукции, находящейся на гарантийном сроке эксплуатации.

Материалы и методы. В критериях предельных состояний фрикционов КПП трактора «Кировец» К-701 предусмотрено не только предельное значение толщины изношенного диска (1,0 мм) и величина его коробления (4,0 мм), но и номинальный (29-35,5 мм) и максимальный (42-49 мм) размеры пакета дисков [5]. На современных КПП тракторов для контроля состояний фрикционных дисков предложили использовать промышленные бесконтактные датчики для контроля перемещения гидроподжимных муфт [6-8]. При помощи сигналов этих датчиков определяют остаточный ресурс фрикционных дисков, а также прогнозируют время их замены.

Интеграционная направленность исследования позволяет совершенствовать предлагаемые способы и выбрать серийно выпускаемые средства для бесконтактной оценки технического состояния, получать информацию для расчета остаточного ресурса при использовании прямых измерений и возможности непрерывного наблюдения за фактическим изменением диагностических параметров узлов трансмиссии тракторов К-700 и их модификаций. Для получения достоверных исходных данных необходимо внедрять цифровую систему технического состояния уже на стадии сборки, испытания коробки перемены передач в стационарных условиях, сопоставимых с условиями воздействий в процессе эксплуатации. По результатам контроля полученной информации формулируют предположение (суждение) о состоянии объектов контроля, и, при необходимости, решение о прекращении работы для предотвращения отказа энергосредства. Предлагаемую диагностическую систему можно устанавливать в агрегаты трансмиссии практически без их конструктивного изменения или с минимальным изменением конструкции.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования на примере КПП К-700А, ведущих мостов автомобиля КАМАЗ показали возможность использования цифровой системы для контроля технического состояния ресурсоопределяющих узлов коробки перемены передач для определения геометрических характеристик по осевому и радиальному перемещению бустеров гидроподжимных муфт, отклику на перемещения рейки механизма переключения передач, а также изменения динамики параметров давления и температуры рабочей жидкости в процессе эксплуатации [9].

Сопряжения трансмиссии в большинстве своем можно отнести к динамически нагруженным [10]. В таких сопряжениях интенсивность изнашивания деталей в ходе эксплуатации увеличивается по линейной зависимости:

$$I = I_0 + a \cdot \Delta S, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность изнашивания детали к концу приработки (приведен-

ная к началу эксплуатации); α – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа; ΔS – износ детали.

Предложенный макетный вариант системы позволит, прежде всего, проводить наблюдение для оценки уровня изношенности по фактическому состоянию агрегатов КПП и нахождению в номинальных и допускаемых значениях параметров эксплуатации. При этом данная система позволит не допустить эксплуатацию при выходе контролируемых параметров за допустимые пределы или в аварийных режимах во время гарантийного и постгарантийного периодов эксплуатации.

Вследствие экспоненциального возрастания окружного, радиального и осевого износов деталей в процессе эксплуатации аналогично изменяются и многие диагностические параметры. В общем виде тенденцию их изменения в процессе эксплуатации можно записать в виде:

$$y = y_0 \cdot e^{al}, \qquad (2)$$

где y_0 – значение диагностического параметра в конце приработки; α – коэффициент интенсивности; l – наработка (приведеннае к началу эксплуатации).

Весьма важным вопросом прогнозирования остаточного ресурса машин, наряду с измерением параметров их технического состояния, стал одновременный правильный учет наработки трактора. Ориентация на время работы трактора по наработке сопряжена со значительной погрешностью, ведь скорость изнашивания деталей, отклонение параметров зависит как от абсолютного времени работы, так и от загрузки машины и внешних условий эксплуатации.

Контроль технического состояния обязателен для обеспечения гарантированного ресурса изготовленной и отремонтированной техники. Отсутствие должного контроля и проверки качества ремонта лишь дискредитирует и лишает конкурентных преимуществ, минимизирует потребительские качества продукции отечественной техники в глазах современного потребителя.

Для осуществления контроля степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт на стадии изготовления или ремонта коробки перемены передач устанавливают:

- маркерные кольца *c* на цилиндрической поверхности штатных бустеров передач ведущего вала (*рис. 1*);
- напротив бустеров (1) передач в разъеме нижнего и верхнего картеров просверливают отверстия и устанавливают гильзы для крепления и позиционирования индукционных или вихретоковых датчиков (2) с аналоговым выходом (*рис. 2*);
- к аналоговому выходу штатного датчика давления коробки перемены передач устанавливают дополнительный электрический разъем для упрощения подключения удлинительного кабеля;
- в поддоне картера коробки перемены передач со стороны патрубка сливного гидравлической магистрали радиатора с применением средств механической обработки устанавливается аналоговый датчик температуры;
- в трубке сапуна устанавливается датчик дыма с регулируемой пороговой чувствительностью;
- аналоговые выходы с датчиков коммутируются на разъемы для подключения входов модуля ввода-вывода и обработки аналоговой и цифровой информации с наличием USB интерфейса для подключения к ПК. В ис-

следованиях использовался АЦП L-Card E14-140 для обработки и передачи данных на переносной ПК (*рис. 3*).

Рис. 1. Внешний вид и расположение элементов маркерных колец на бустере передачи: 1 – маркерное кольцо конической формы; 2 – маркерное кольцо ступенчатой формы

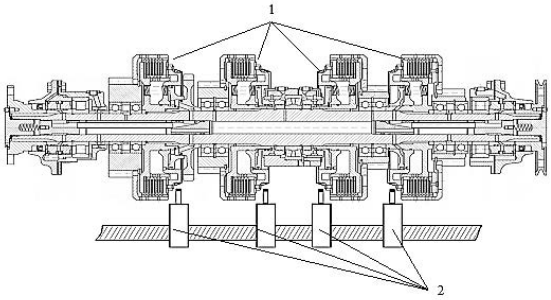


Рис. 2. Эскиз мест расположения индукционных датчиков относительно бустеров передач ведущего вала: 1 – бустеры передач; 2- индукционные датчики

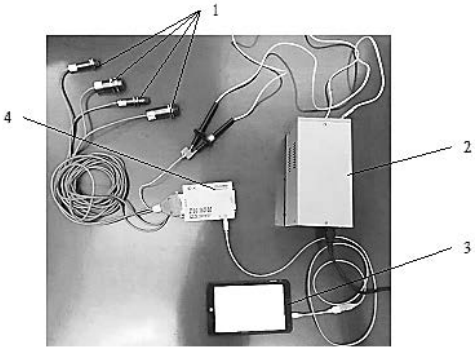


Рис. 3. Общий вид системы для контроля осевых и радиальных перемещений бустеров передач ведущего вала: 1 – индукционные датчики с аналоговым выходом; 2- источник питания +5 В; 3 – планшетный компьютер для визуализации и протоколирования данных; 4 – аналогово-цифровой преобразователь (L-card 14-440)

Для калибровки датчиков и сравнительной оценки точности измерений в статическом (*а*) и динамическом (*б*) режимах разработаны приспособления, на которых производятся измерения в диапазоне рекомендуемых изготовителем величин (*рис. 4*). Анализ данных, полученных в ходе измерения перемещений датчиками ДПА-М18-86У-2110-Н, показал, что точность измерений соответствует 1.0 классу точности в диапазоне перемещений бустеров КПП на 2-6 мм при 1620 об/мин, что соответствует техническим требованиям к метрологической оснащенности по ТК70.0001.071 для определения радиального зазора подшипников КПП.

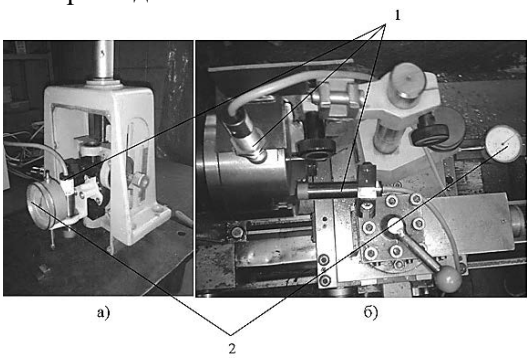


Рис. 4. Приспособления для оценки точности измерения в режимах: а – статическом; б – динамическом; 1 – индукционные датчики; 2 – индикаторная головка

Подготовлен макет для дальнейшего совершенствования входного контроля и реализации бесконтактной системы оценки по критерию недопущения к использованию металлических фрикционных дисков при сверхнормативной неплоскостности (*рис. 5*). В процессе экспериментальной проверки использовали новые, рабочие, а также аварийные металлические ведущие диски. Отслеживание плоскостности обеспечивали следующим образом: отобранные ведущие диски (1) укладывали на плоскую поверхность (стекло) и подводили под установленный на штативе индукционный датчик (2). Сигнал с датчика подавался параллельно на АЦП Е-14-140 и показывающий контролер ТРМ-202 (5), оснащенный блоком индикации (красный индикатор – брак, желтый и зеленый – норма). Критерием неплоскостности диска являлось изменение расстояния от ближайшей точки на поверхности диска до датчика более чем на 0,3 мм. Действительное значение толщины диска регистрировали на ПК (3). Для калибровки системы использовали конечные меры толщиной: 1,5; 2, 5 мм.

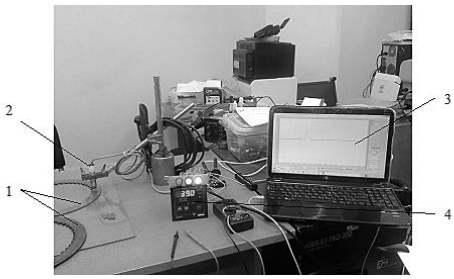
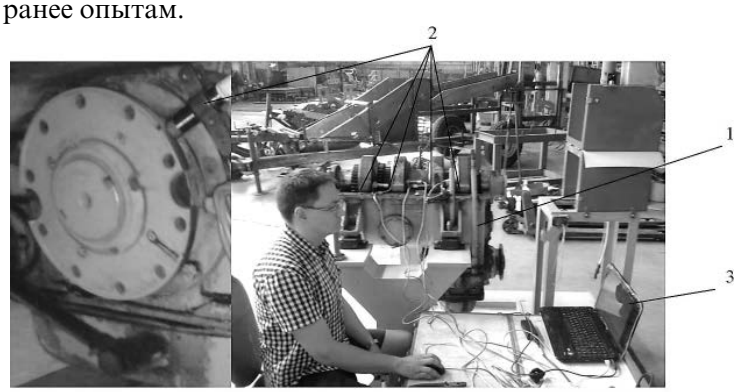


Рис. 5. Общий вид макета тест-системы входного контроля ведущих дисков КПП К-744

По итогам эксперимента выявили:

- скорость измерения составляет не более 2 с на одно измерение;
- система позволяет автоматизировать процесс для реального производства, исключить «человеческий фактор» при принятии решения годности деталей при сборке, дефектации и контроле качества изготовления;
- преимуществом такой системы является нечувствительность на наличие масляных загрязнений.

Наибольший практический интерес заслуживает использование бесконтактных способов контроля из-за возможности встраивания индуктивных датчиков с аналоговым выходом в узлы и агрегаты. Разработали макет экспериментальной установки, на которой отрабатывали возможность контроля технического состояния узлов и подшипников раздаточного вала (а), ведущего вала КПП (б) энергосредства, на примере КПП К-700А (1), первоначально датчики (2) устанавливали по оси ведущего вала, после проведенных опытов наиболее приемлемым вариантом принята их радиальная установка (*рис. 6*). Сбор данных осуществлялся на ПК (3) аналогично описанным ранее опытам.



а) б)

в)

Рис. 6. Экспериментальная установка для сбора данных технического состояния бесконтактным способом: а – раздаточного вала; б – ведущего вала; в – оценка на ПК

Установка предназначена для оценки динамики изменения как геометрических, так и изменяемых по времени величин: скорости вращения и перемещений в реальных условиях эксплуатации техники под нагрузкой, что по-

вышает уровень приспособленности к диагностированию и контролепригодности (по ГОСТ 24925-81) для выпускаемой и эксплуатируемой энергонасыщенной техники отечественного производства. При исследованиях возможности опытного внедрения использовали аналоговые индуктивные бесконтактные датчики модели ДПА производства ЗАО «Сенсор».

Предложили проект для проработки и реализации на АО «ПТЗ» цифровой системы для контроля:

- динамики изменения времени перемещения и значения хода бустера от давления системы управления (*рис. 7*);
- технического состояния гидрораспределителя, механизма переключения передач, осевых перемещений бустеров передач, температуры рабочей жидкости, состояния фрикционных дисков, давления рабочей жидкости в полости бустера передачи (*рис. 8*);
- визуализации технического состояния пакета дисков при проведении технического обслуживания (ТО) (*рис. 9*).

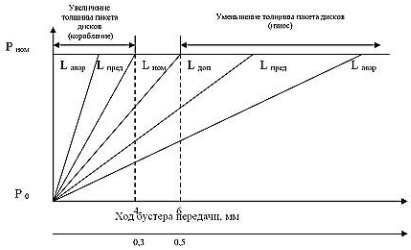


Рис. 7. Система контроля износа и времени линейного перемещения до достижения номинальных значений давления

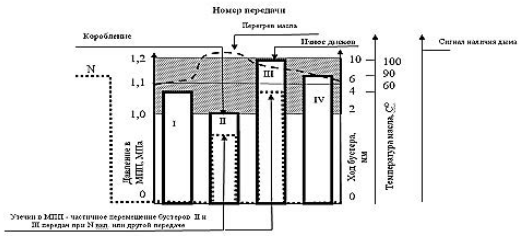


Рис. 8. Система общего контроля функционирования гидромеханической системы ведущего вала

Рис. 9. Визуализация системы и идентификации технического состояния пакетов дисков по ходу бустеров передач при проведении ТО

По итогам представленных результатов исследований в АО «ПТЗ» проявлен интерес по проработке вопроса внедрения цифровой диагностической системы ведущего вала КПП в качестве опции на серийную продукцию.

Выводы. На современном этапе при развитии фирменной товаропроводящей сети перед дилерами для повышения привлекательности для конечного потребителя остро стоит вопрос адаптации узлов энергосредств к современным способам контроля. Низкая контролепригодность и приспособленность к диагностированию узлов и агрегатов трансмиссии требует внедрения дополнительных цифровых средств с целью обеспечения высокой эксплуатационной надежности, корректировки времени сервисного обслуживания для предупреждения отказов.

Выпускаемая и эксплуатируемая техника должна сопровождаться современными средствами и методиками для бесконтактного определения технического состояния ресурсоопределяющих узлов, агрегатов для получения объективной картины технического состояния. Это, в свою очередь, позволит: минимизировать издержки при изготовлении и повысить рентабельность при сервисном обслуживании техники; обеспечить цифровыми средствами контроля эксплуатирующие организации, специализированные сервисные предприятия, обеспечивающие, главным образом, соблюдение единых стандартов завода-производителя, а для конструкторов, технологов, сервисной и логистической служб производителя появится возможность получать данные, основанные на объективной информации, позволяющей оперативно проводить изменения по совершенствованию выпускаемой продукции.

Полученные с помощью представленной системы данные позволят информировать диагноста и оператора о состоянии контролируемых элементов, а также прогнозировать остаточный ресурс исходя из динамики изменения их состояния.

Библиографический список

1. Макаркин И.М., Данков А.А., Филиппова Е.М., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Опыт внедрения оборудования для диагностики, контроля качества изготовления и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии энергонасыщенной техники // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. N4-2(336). С. 135-144.

2. 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. N9. С. 11-16.

3. Петрищев Н.А., Лавров А.В., Крюковская Н.С., Капусткин А.О., Саяпин А.С., Поспелов А.Р., Прядкин В.И. Контроль качества силовых передач и ходовых систем с использованием цифровых технологий // Тракторы и сельхозмашины. 2018. N6. С. 63-69.

4. Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Поспелов А.П., Крюковская Н.С. Анализ и перспективы использования цифровых технологий для контроля качества эксплуатации силовых передач и ходовой части МТП // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. N8. С. 10-15.

5. Мошкин Н.И., Алексеев А.В., Алексеев В.М. Моделирование рабочих процессов, происходящих во фрикционных элементах управления гидромеханических транс-

миссий тракторов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2012. N1. С. 130-134.

6. Карпиевич Ю.Д., Бондаренко И.И. Уровень информационного сигнала от датчика линейного перемещения поршня гидроподжимной муфты коробки передач как показатель степени ее износа и величины остаточного ресурса // Наука и техника. 2015. N4. С. 51-56.

7. Карпиевич Ю.Д., Жуковский Ю.М., Бондаренко И.И., Мальцев Н.Г. Метод диагностирования степени износа фрикционных дисков гидроподжимных муфт коробок передач колесных и гусеничных машин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной ведущим ученым БГАТУ, создателям научной школы по автотракторостроению Д. А. Чудакову и В. А. Скотникову. Минск: БГАТУ. 2013. С. 66-70.

8. Опанович В.А., Карпиевич Ю.Д. Технология диагностирования машин // Наука и техника. 2012. N2. С. 42-52.

9. Макаркин И.М., Дунаев А.В., Галимов Т.М. Приемы диагностирования редукторов ведущих мостов перспективных автомобилей КАМАЗ // Автомобильная промышленность. 2016. N6. С. 27-30.

10. Беликов А.П. Разработка рациональной структуры эксплуатационно-ремонтного цикла редукторов ведущих мостов автомобилей КамАЗ в АПК: автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук: 05.20.03. Саратов. 2006. 19 с.

References

1. Makarkin I.M., Dankov A.A., Filippova E.M., Petrishchev N.A., Sayapin A.S. Opyt vnedreniya oborudovaniya dlya diagnostiki, kontrolya kachestva izgotovleniya i remonta agregatov gidroprivoda, transmissii energonasyshchennoy tekhniki [Experience in implementation of equipment for diagnostics and quality control of manufacture and repair of hydraulic drive units and transmission of energy-saturated equipment]. Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. 2019. N4-2(336). 135-144 (In Russian).

2. Dorokhov A.S., Petrishchev N.A., Makarkin I.M., Pospelov A.R., Sayapin A.S., Kryukovskaya N.S. Rezervy povysheniya proizvoditel'nosti i nadezhnosti MTP v APK [Reserves to improve the performance and reliability of MTP in agriculture]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2018. N9. 11-16 (In Russian).

3. Petrishchev N.A., Lavrov A.V., Kryukovskaya N.S., Kapustkin A.O., Sayapin A.S., Pospelov A.R., Pryadkin V.I. Kontrol' kachestva silovykh peredach i khodovykh sistem s ispol'zovaniyem tsifrovykh tekhnologiy [Quality control of power transmissions and running systems using digital technologies]. Traktory i sel'khozmashiny. 2018. N6. 63-69 (In Russian).

4. Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Pospelov A.P., Kryukovskaya N.S. Analiz i perspektivy ispol'zovaniya tsifrovykh tekhnologiy dlya kontrolya kachestva ekspluatatsii silovykh peredach i khodovoy chasti MTP [Analysis and prospects of use of digital technologies for quality control of power transmissions operation and running gear of MTP]. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2018. N8. 10-15 (In Russian).

5. Moshkin N.I., Alekseyev A.V., Alekseyev V.M. Modelirovaniye rabochikh protsessov, proiskhodyashchikh vo friktsionnykh elementakh upravleniya gidromekhanicheskikh transmissiy traktorov [Modeling of working processes occurring in friction control elements of hydromechanical transmissions of tractors]. Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologiy i upravleniya. 2012. N1. 130-134 (In Russian).

6. Karpiyevich Yu.D., Bondarenko I.I. Uroven' informatsionnogo signala ot datchika lineynogo peremeshcheniya porshnya gidropodzhimnoy mufty korobki peredach kak pokazatel' stepeni eye iznosa i velichiny ostatochnogo resursa [The information signal from the linear displacement sensor of the hydraulic clutch piston of the gearbox as an indicator of its wear and the value of the residual life]. Nauka i tekhnika. 2015. N4. 51-56 (In Russian).

7. Karpiyevich Yu.D., Zhukovskiy Yu.M., Bondarenko I.I., Mal'tsev N.G. Metod diagnostirovaniya stepeni iznosa friktsionnykh diskov gidropodzhimnykh muft korobok peredach kolesnykh i gusenichnykh mashin [Method of diagnosing the wear of friction discs of hydraulic couplings gearboxes of wheeled and tracked vehicles]. Nauchno-tekhnicheskiy progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy vedushchim uchenym BGATU, sozdatelyam nauchnoy shkoly po avtotraktorostroyeniyu D. A. Chudakovu i V. A. Skotnikovu. Minsk: BGATU. 2013. 66-70 (In Russian).

8. Opanovich V.A., Karpiyevich Yu.D. Tekhnologiya diagnostirovaniya mashin [The machines diagnosis technology]. Nauka i tekhnika. 2012. N2. 42-52. (In Russian).

9. Makarkin I.M., Dunayev A.V., Galimov T.M. Priyemy diagnostirovaniya reduktorov vedushchikh mostov perspektivnykh avtomobiley KAMAZ [Methods of diagnostics of gearboxes of driving axles of perspective KAMAZ cars] . Avtomobil'naya promyshlennost'. 2016. N6. 27-30 (In Russian).

10. Belikov A.P. Razrabotka ratsional'noy struktury ekspluatatsionno-remontnogo tsikla reduktorov vedushchikh mostov avtomobiley KamAZ v APK: avtoref. dis. na soisk. uchenoy step. kand. tekhn. nauk: 05.20.03 [Development of rational structure of operational and repair cycle of reducers of leading axles of KAMAZ vehicles in agroindustrial complex: autoref. dis. on competition of a scientific degree cand. of tech. sciences: 05.20.03]. Saratov. 2006. 19 (In Russian).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.9.048

ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

Валерий Игоревич Иванов[1], e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Аркадий Валентинович Козырь[2], кандидат технических наук, доцент;
Леонид Алексеевич Коневцов[3], кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
Вячеслав Федорович Аулов[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
[1] Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2]Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Российская Федерация;
[3] Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация

Реферат. *В машиностроении и ремонтном производстве востребованы экономичные и эффективные методы нанесения металлопокрытий для улучшения эксплуатационных свойств и восстановления работоспособности деталей. Особенно это актуально в условиях ужесточения режимов эксплуатации техники, работы ее в агрессивных средах. (Цель исследования) Дополнить результатами исследований существующий положительный опыт применения электроискровых износостойких покрытий для работы в агрессивной среде. (Материалы и методы) Выбрали в качестве материала подложки при электроискровом легировании сталь 45, которая широко применяется в производстве изделий машиностроения, отличается достаточной надежностью, прочностью, износоустойчивостью. Анодными материалами служили чистые металлы Cr, Co, Ni, а также жаро- и коррозионностойкие сплавы, содержащие эти металлы: 20Х13, 14Х17Н2, 08Х22Н6Т, Х20Н80Н, 12Х18Н10Т, 2ХН3А, ВК8. Проводили коррозионные испытания на образцах цилиндрической формы диаметром 13 и высотой 10 миллиметров с электроискровыми покрытиями, которые наносили на разных технологических режимах. (Результаты и обсуждение) Выявили значительное влияние химического и фазового составов на коррозионную стойкость электроискровых покрытий. Отметили при проведении экспериментальных исследований образцов из стали Ст3 с электроискровыми покрытиями положительный эффект дополнительной химико-термической обработки. Исследовали структуру и состав измененных поверхностных слоев образцов, подвергнутых электроискровому легированию для понимания причины различия защитных свойств электроискровых покрытий. (Выводы) Представили результаты анализа химической стойкости ряда тугоплавких соединений, сведения о защите химическим и химико-термическим методами от коррозионного разрушения износостойких покрытий, структуре и составе коррозионностойких покрытий на стали 45. Привели*

пример эффективности применения электроискрового никелевого покрытия для коррозионной защиты титанового трубопровода. Технически обоснованный выбор электродных материалов как для обеспечения требуемой износостойкости покрытия, так и его инертности в отношении среды эксплуатации способствует увеличению ресурса объекта с ЭИ покрытием. Применение методов химической защиты износостойких покрытий также дает положительный антикоррозионный эффект.

Ключевые слова: *электроискровое легирование, покрытие, электродный материал, износостойкость, коррозионная стойкость.*

Для цитирования: *Иванов В.И., Козырь А.В., Коневцов Л.А., Аулов В.Ф. Износо- и коррозионностойкие электроискровые покрытия для упрочнения и восстановления деталей и инструментов // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 98-108.*

WEAR AND CORROSION RESISTANT ELECTRO-SPARK COATINGS FOR HARDENING AND REPAIRING OF PARTS AND TOOLS

Valeriy I. Ivanov[1], e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Arkadiy V. Kozyr'[2], PhD (Eng.), assistant professor;
Leonid A. Konevtsov[3], PhD (Eng.), senior researcher;
Vyacheslav F. Aulov[1], PhD (Eng.), leading researcher
[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation
[2] Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation;
[3] Institute of Materials Science of the Khabarovsk Scientific Center of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract. *In mechanical engineering and repair production, economical and effective methods of applying metal coatings to improve the operational properties and restore the performance of parts are in demand. This is especially true in conditions of tightening modes of equipment operation, its operation in aggressive environments. (Research purpose) The research purpose is supplement the existing positive experience in the use of electric spark wear-resistant coatings for work in an aggressive environment with the research results. (Materials and methods) 45 steel, widely using in the production of mechanical engineering products, characterizing by sufficient reliability, strength, wear resistance, was chosen as the substrate material for electric spark alloying. Anode materials were pure metals Cr, Co, Ni, as well as heat-and corrosion-resistant alloys containing these metals: 20H13, 14H17N2, 08H22N6T, H20N80N, 12H18N10T, 2HN3A, VK8. Corrosion tests were carried out on cylindrical samples with a diameter of 13 and a height of 10 millimeters with electric spark coatings, which were applied at different technological modes. (Results and discussion) We have revealed significant influence of chemical and phase compositions on corrosion resistance of electric spark coatings. The article describes the positive effect of additional chemical and thermal treatment during the experimental studies of samples made of St3 steel with electric spark coatings. The structure and composition of the modified surface layers of samples subjected to electric sparking alloying were studied to understand the reason for the difference in the protective properties of electric spark coatings. (Conclusion) The article presents*

the results of the analysis of the chemical resistance of a number of refractory compounds, information on the protection of chemical and chemical-thermal methods from corrosion destruction of wear-resistant coatings, the structure and composition of corrosion-resistant coatings on 45 steel. An example of the effectiveness of the use of spark nickel coating for corrosion protection of titanium pipeline. Technically justified choice of electrode materials both to ensure the required wear resistance of the coating and its inertness in relation to the operating environment contributes to the increase in the life of the object with EI coating. The use of chemical protection methods for wear-resistant coatings also gives a positive anti-corrosion effect.

Keywords: *electric spark alloying, coating, electrode material, wear resistance, corrosion resistance.*

For citation: *Ivanov V.I., Kozyr' A.V., Konevtsov L.A., Aulov V.F. Iznoso- i korrozionnostoykiye elektroiskrovyye pokrytiya dlya uprochneniya i vosstanovleniya detaley i instrumentov [Wear and corrosion resistant electro-spark coatings for hardening and repairing of parts and tools]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 98-108 (In Russian).*

Введение. В машиностроении и ремонтном производстве востребованы экономичные и эффективные методы нанесения металлопокрытий для улучшения эксплуатационных свойств и восстановления работоспособности деталей. Особенно это актуально в условиях ужесточения режимов эксплуатации техники, работы ее в агрессивных средах. В связи с этим повышается объем применения наукоемких технологий [1]. К ним можно отнести метод электроискрового легирования (ЭИЛ), используемый и интенсивно развиваемый в России и за рубежом [2].

При ЭИЛ каждый искровой разряд инициирует на поверхности обрабатываемой детали в ее микрообъемах сложные микрометаллургические процессы с участием элементов материалов электрода, детали и межэлектродной среды. При многократном воздействии искровыми разрядами (частота в зависимости от режимов обработки регулируется от 10 до 1000 Гц) на обрабатываемом изделии образуется измененный поверхностный слой, содержащий новые соединения (карбиды, нитриды, оксиды), а также интерметаллиды из элементов материалов электрода, детали и окружающей среды; изменяется рельеф поверхности. Все это оказывает влияние на изменение эксплуатационных свойств поверхностного слоя, что при грамотном применении позволяет значительно повысить ресурс обрабатываемых деталей, режущих инструментов, штампов, валков прокатных станов, ответственных деталей гражданской и военной техники, а также восстанавливать размеры изношенных деталей. В различных научных центрах России – ВИМ, ИСМАН РАН, МИСиСе (Москва), НПО «Плазмацентр» (С.-Петербург), МГУ им. Н.П. Огарева (Саранск), ИМ ХНЦ ДВО РАН (Хабаровск) и многих других ведутся исследования, направленные на получение новых знаний о методе ЭИЛ, создание новых электродных материалов, нового современного оборудования, новых технологий применения этого метода. Исследователи из стран дальнего зарубежья также уделяют значительное внимание данному методу. Известны зарубежные работы, посвященные дальнейшему изучению явлений на контакте «анод – катод» при ЭИЛ, улучшению свойств электроискровых (ЭИ) покрытий оптимизацией параметров

разрядных импульсов, исследованию силового воздействия электрода на деталь в процессе обработки и влияния на ее результаты, улучшению электродных материалов путем предварительной обработки их методом ЭИЛ, применению этого метода [3-8]. Проблема увеличения ресурса различных объектов (детали, инструменты) стала превалирующей, над ее решением работают специалисты, развивающие также и другие методы обработки материалов, например, наплавочные [9]. На практике метод ЭИЛ применяют часто без учета среды, агрессивного ее воздействия на поверхность детали, инструмента при их эксплуатации. Остается без внимания факт: электроискровые покрытия имеют во многих случаях низкую коррозионную стойкость из-за пористости и повышенной шероховатости поверхности, что способствует растравливанию металла подложки и его разрушению [10]. По этой причине не всегда удается получить желаемый эффект.

С учетом высокой универсальности метода ЭИЛ, его эффективности и перспективности для практического применения в машиностроении и ремонтном производстве, но также существующих проблем пониженной коррозионной стойкости ЭИ покрытий выполнена данная работа [11].

Цель исследования – дополнить результатами исследований существующий положительный опыт применения электроискровых износостойких покрытий для работы в агрессивной среде.

Материалы и методы. В качестве материала подложки при ЭИЛ выбрали сталь 45, которая широко применяется в производстве изделий машиностроения, отличаясь достаточной надежностью, прочностью, износоустойчивостью. Из этой стали изготовляют валы распределительные, коленчатые, вал-шестерни, а также шестерни, зубчатые колеса, цилиндры, шпиндели, кулачки, многие другие детали, подвергаемые термообработке. Анодными материалами служили чистые металлы *Cr*, *Co*, *Ni*, а также жаро- и коррозионностойкие сплавы, содержащие эти металлы: 20Х13, 14Х17Н2, 08Х22Н6Т, Х20Н80Н, 12Х18Н10Т, 2ХН3А, ВК8. Учитывали, что железо образует неограниченные твердые растворы с *γ-Cr*, *α*- и *β-Co*; кроме того, на базе *Fe* образуются ограниченные твердые растворы с *α*- и *β-Co*, *α*- и *β-Ni*, *γ-Cr* и с *Fe*, на основе *W*, *Co*, образуются ограниченные твердые растворы, а с *W* – эвтектические смеси, оказывающие положительное влияние на коррозионную стойкость сталей с такими соединениями.

Коррозионные испытания проводили на образцах цилиндрической формы диаметром 13 и высотой 10 мм с ЭИ покрытиями, которые наносили на разных технологических режимах.

Для нанесения покрытий предварительно определяли предельное значение t_x удельного времени ЭИЛ (мин), превышение которого ведет к хрупкому разрушению нанесенного слоя; фактическое удельное время не превышало t_x, то есть $t < t_x$. Критерием оценки служило удельное изменение массы образца-катода $\Delta m_к$ (г/см^2). Используя максимальные значения прироста массы образца-катода $\Delta_{кmax}$ и эрозии электрода-анода $\Delta_{a\ max}$, что соответствует порогу хрупкого разрушения покрытия (t_x), определяли коэффициент электромассопереноса материала с анода на катод:

$$К = (\Delta_{к\ max} / \Delta_{a\ max})\cdot 100,\ \%. \quad (1)$$

Эффективность процесса формирования легированного слоя, значимую характеристику ЭИЛ, используемую для его оценки, определяли согласно формуле:

$$\gamma = \Sigma\Delta_к \cdot K \cdot t/t_x \text{, г/см}^2, \quad (2)$$

где $\Sigma\Delta_к$ – суммарный удельный прирост массы образца-катода за фактическое удельное время t.

Эффективность защитного действия ЭИ покрытия определяли по формуле:

$$\gamma' = \Sigma\Delta_к \cdot К \cdot t/t_x \cdot K_{корр} \text{, г/см}^2, \quad (3)$$

где $K_{корр}$ – коэффициент защитного действия от коррозии, равный $K_{корр} = \rho_{лс} / \rho_{осн}$ ($\rho_{лс}$ – скорость коррозии легированного слоя; $\rho_{осн}$ – скорость коррозии материала основы).

При исследовании защитных свойств хромоникелевых покрытий от коррозии использовали кислые сульфатные растворы.

Численные значения скорости коррозии ρ определяли по формуле:

$$\rho = \Delta_m / f_r \cdot S \cdot \tau \text{, г/м}^2\text{·ч}, \quad (4)$$

где $\Delta m = m_1 - m_2$ (m_1 и m_2 – масса образца до и после коррозионных испытаний), г; f_r – коэффициент шероховатости ($f_r = R_{a(покр)}/R_{a(основы)}$); S – площадь поверхности образца, см^2; τ – время проведения испытаний, ч.

Скорость коррозии определяли по концентрации *Cr* и *Ni* в растворе на приборе ICP-MS ELAN DRC II Perkin Elmer (USA) в ХИАЦ Института тектоники и геофизики ДВО РАН, по концентрации общего *Fe* в растворе – фотоколориметром ФЭК-56М по оптической плотности раствора.

Эффективность защиты Z основы со сформированным ЭИ покрытием определяли по формуле:

$$Z = (k_{ос} - k_{покр}) \cdot 100 / k_{ос}, \%, \quad (5)$$

где $k_{ос}$ и $k_{покр}$ – значения коррозионных свойств, соответственно, основы и покрытия. В качестве критерия коррозионных свойств может быть принята скорость коррозии ρ.

Для ЭИЛ использовали установки IMES-01-2 и БИГ-5, химико-термическую обработку выполняли на установке УХТО-5Б. Изменение массы образца определяли как разность значений до и после опыта на аналитических весах марки АДВ-200М с точностью до 0,0001 г. Фазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3М. Макро- и микроструктуру изучали с помощью металлографического микроскопа МИМ-10. Микротвердость легированного слоя определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Результаты и обсуждение. На практике для нанесения методом ЭИЛ износостойких покрытий обычно применяют электродные материалы, содержащие твердые соединения (карбиды, нитриды, бориды и прочие) переходных металлов. Не отвлекаясь на технологические приемы, способствующие созданию оптимальной пары трения, когда могут применяться также легкие металлы, отметим их эффективность в условиях высокого силового и теплового нагружений рабочей поверхности. В обычных условиях эксплуатации, когда отсутствует агрессивная среда, износ рабочей поверхности связан преимущественно с механическим разрушением ее элементов. В этом случае твердые покрытия проявляют свою эффективность в полной мере.

Условия работы изделия с износостойким ЭИ покрытием существенно ухудшаются при наличии агрессивной газовой или жидкой среды. При этом фазовый состав поверхностного слоя изделия влияет на его ресурс.

Приведем на примере боридов, карбидов и нитридов переходных металлов результаты исследований химической стойкости ряда тугоплавких соединений, выполненные в 1950-1970 гг. и обобщенные в справочнике; эти соединения присутствуют в ЭИ покрытиях при использовании соответствующих электродных материалов [12]. В обработанном виде справочные данные о стойкости к химическому воздействию исследованных фаз приведены в *табл. 1*.

Таблица 1

Количество нерастворенного остатка, %

Бориды								
TiB_2	ZrB_2	HfB_2	VB_2	NbB_2	TaB_2	CrB_2	Mo_2B_5	W_2B_5
89	65	92	49	100	99	99	95	100
Карбиды								
TiC	ZrC	HfC	-	NbC	TaC	-	Mo_2C	WC
100	97	100	-	100	100	-	89	91
Нитриды								
TiN	ZrN	-	-	-	-	-	-	-
97	94	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: условия обработки: реагент – серная кислота (H_2SO_4) плотностью 1,84 г/см^3; температура – 20°С; время – 24 ч. Критерий оценки – количество нерастворимого остатка, %.

Из анализа данных *табл. 1* следует вывод о значительном влиянии химического и фазового составов на коррозионную стойкость ЭИ покрытий. Видно на примере применения в качестве реагента серной кислоты, что эта характеристика может изменяться более чем в 2 раза. Очевидно существует подобная зависимость стойкости тугоплавких соединений и от других активных реагентов, что требует учета при выборе электродных материалов для ЭИЛ. Наряду с приведенными результатами, существует на практике необходимость защиты упрочняющего ЭИ покрытия от коррозионного воздействия. Приведем пример получения положительного эффекта при проведении экспериментальных исследований образцов из стали Ст3 с ЭИ покрытиями после дополнительной химико-термической обработки [13].

Обработкой ЭИЛ наносили твердым сплавом ВК8 (92WC+8Co) покрытия толщиной 0,2-0,4 мм, добиваясь чередованием мягких и грубых режимов (3 цикла: мягкий – грубый – мягкий) получения их однородными и сплошными.

Анодную химико-термическую обработку образцов проводили в электролите, содержащем, г/л: NH_4Cl 110 и $NaNO_3$ 110, в который было дополнительно введено 10 г/л танина, при напряжении на электродах 200 В, плотности тока 2 А/см^2, температуре анода 750°С в течение 3 мин с последующим окислением в электролите. Затем образец промывали в воде и помещали в концентрированную ортофосфорную кислоту на 4 ч и/или в раствор азотистокислого натрия $NaNO_2$ концентрацией 50 г/л при температуре 70°С. В результате экспериментальных исследований установили, что при комбинированной обработке, включающей нанесение сплавом ВК8 ЭИ покрытия, его химико-термическую обработку, пассивирование в ортофосфорной кислоте с последующим электролитическим заполнением пор, токи анодного растворения по сравнению со стальной поверхностью уменьшаются в 120-280 раз, по сравнению с покрытием ВК8 – в 10,7-12,1 раза. Это свидетельствует о высокой эффективности технологического приема в виде коррозионной

защиты износостойких ЭИ покрытий. Рассмотрим другую важную область применения ЭИ покрытий, где основной задачей является нанесение относительно толстых слоев для восстановления размеров изношенных деталей или устранения производственного брака механической обработки. Для этой области коррозионная стойкость также имеет важное значение. Исследованы защитные свойства ЭИ покрытий в кислых средах, что отражено в методике работы. С этой целью проведены испытания коррозионной стойкости образцов из стали 45 с ЭИ покрытиями в растворах серной кислоты 0,1 н., 0,01 и 0,001 н. концентрации при выдержке в течение 120 ч [14]. На рисунке 1 представлены результаты коррозионных испытаний защитных свойств ЭИ покрытий, полученных с использованием хромоникелевых сплавов и чистых металлов на стали 45. Установлено, что в сравнении со сталью 45 все испытанные ЭИ покрытия обладают более высокой коррозионной стойкостью.

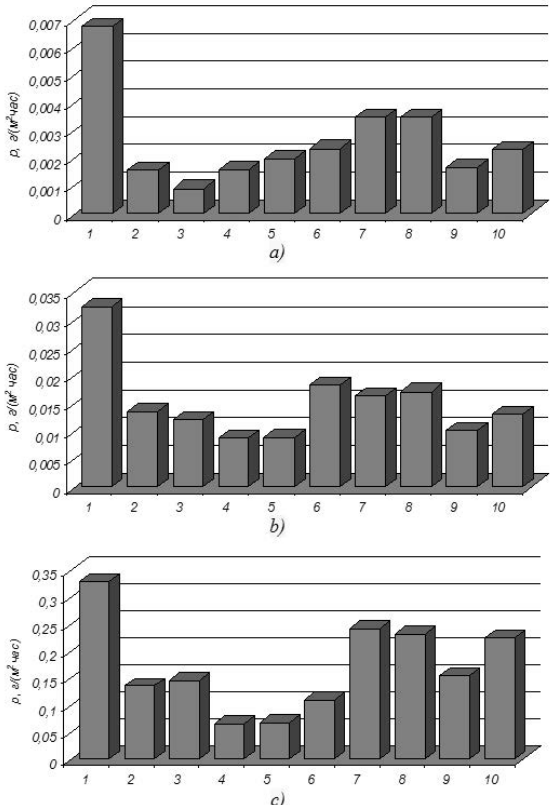


Рис. 1. Скорость коррозии стали 45 с электроискровыми покрытиями в растворах H_2SO_4: a – 0,001 н.; b – 0,01 н.; c – 0,1 н. Материалы легирующего электрода: 1 – сталь 45 (без покрытия); 2 – 20Х13; 3 –14Х17Н2; 4 – 08Х22Н6Т; 5 – Х20Н80Н; 6 – 12Х18Н10Т; 7 – Cr; 8 – Ni; 9 –12ХН3А; 10 – ВК8

Наименее подвержены воздействию кислоты хромоникелевые покрытия по сравнению с хромовым, никелевым и из твердого сплава ВК8.

Для понимания причины различия защитных свойств ЭИ покрытий исследованы структура и состав измененных поверхностных слоев (ИПС) образцов, подвергнутых ЭИЛ (*табл. 2*). Они обладают существенными отличиями, что связано с использованием хромоникелевых анодных материалов с

различным количеством легирующих элементов. В таблице 2 представлены структура и состав ИПС после ЭИЛ хромоникелевыми электродными материалами и чистыми металлами. Видно, что при использовании хромоникелевых сплавов структура сформированных ими ИПС соответствует структуре материала легирующего электрода, что позволяет прогнозировать коррозионную стойкость ЭИ слоев. Наименьшей коррозионной стойкостью обладает покрытие из сплава 12ХН3А. Сформированная структура не содержит достаточного количества легирующих компонентов, как и в материале легирующего электрода (*табл. 2*). Поэтому основа сплава оказывается менее стойкой, чем фазовые включения. Металлографический анализ показал растворение покрытия в агрессивном растворе, где более стойкая катодная фаза накапливается на поверхности в виде рыхлого несплошного слоя (*рис. 2*), не вызывающего заметного торможения растворения основы сплава.

Таблица 2

Структура и состав ЭИ покрытий на стали 45

Материал легирующего электрода (анода)	Структура материала анода (по Шеффлеру)	Химический состав ИПС, %	Структура ИПС (по Шеффлеру)
20Х13	феррит	Cr – 15	δ-феррит
14Х17Н2	мартенсит + феррит	Cr – 15; Ni – 1,9	мартенсит + δ-феррит
12Х18Н10Т	аустенит+феррит+ мартенсит	Cr – 18; Ni – 8	аустенит + δ-феррит + мартенсит
Х20Н80Н	аустенит	Cr – 15; Ni – 40	аустенит
08Х22Н6Т	аустенит+феррит	Cr – 20; Ni – 10	аустенит + δ-феррит
Cr	-	Cr – 61	δ-феррит
Ni	-	Ni – 86	аустенит
12ХН3А	феррит	Cr – 2,5; Ni – 2,5	α -феррит

Все образованные структуры ИПС после ЭИЛ, приведенные в таблице 2, начиная с содержания никеля 10% и выше, согласно диаграмме Шеффлера, оказываются разновидностями аустенитной структуры и проявляют повышенную стойкость к коррозии (*рис. 1*).

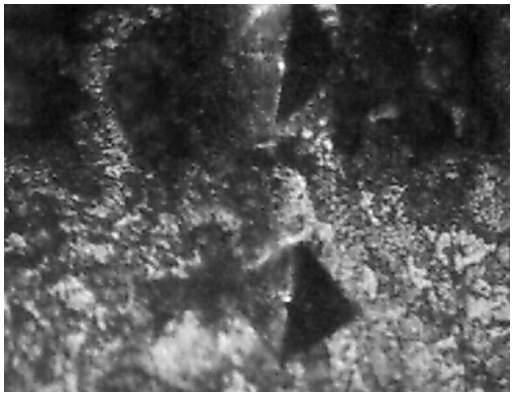


Рис. 2. Характерный вид ИПС стали 45 с электроискровым покрытием 12ХН3А после коррозионных испытаний в 0,1 н. растворе H_2SO_4, х 250

Растворение стали 45 с ЭИ покрытиями сопровождается уменьшением его толщины и сплошности, что подтверждается результатами металлографических исследований (*табл. 3*) [15].

Таблица 3

Результаты металлографических исследований ИПС стали 45 после коррозионных исследований в 0, 1 н. растворе H_2SO_4

Материал легирующего электрода	До коррозионных испытаний		После коррозионных испытаний	
	Толщина БС, h, мкм	Сплошность БС θ, %	Толщина БС, h, мкм	Сплошность БС θ, %
20Х13	35,1	97,8	8,4	21,0
14Х17Н2	31,3	97,8	9,0	5,7
12Х18Н10Т	35,0	98,5	14,0	13,3
Х20Н80Н	42	100	10,0	26,6
08Х22Н6Т	32,4	99,8	7,0	43,0
Cr	21,3	98,4	3,9	3,6
Ni	24,7	99,7	4,1	13,4
12ХН3А	23,6	98,0	6,2	1,3
ВК8	32,1	94,1	6,3	1,9

Наименьшая толщина белого слоя (БС), сохранившегося после активного растворения, наблюдается у покрытий из Ni, Cr и твердого сплава ВК8; это согласуется с результатами скорости коррозии (рис. 1). Но у наиболее коррозионностойких покрытий из Х20Н80Н и 08Х22Н6Т сохранившийся белый слой также имеет небольшую толщину. Сплошность этих покрытий уменьшается, однако она максимальна во всем ряду исследуемых покрытий. Таким образом, определяющую роль в коррозионной стойкости ЭИ покрытий играет комбинация легирующих элементов в ИПС. Наилучшая коррозионная стойкость характерна аустенитной структуре ЭИ покрытий, сформированных сплавами 08Х22Н6Т и Х20Н80Н.

Многолетней практикой многими промышленными предприятиями подтверждена эффективность ЭИ износостойких покрытий с функцией коррозионной защиты. Одним из наиболее ярких примеров можно назвать Новгородский завод «Азот», где требовалась защита от коррозии титановым трубопроводам. В 1980-х годах Опытным заводом Института прикладной физики АН МССР (г. Кишинев, Молдавия) этому предприятию была поставлена механизированная ЭИ установка на базе токарного станка, с помощью которой проблему успешно решили путем нанесения никелевого покрытия. В данной работе не раскрыты по причине ограничения объема публикации результаты сопутствующих промежуточных исследований характеристик процесса ЭИЛ и покрытий, описанных в методической части, но которые авторы намерены представить в последующих статьях.

Выводы. Метод ЭИЛ обладает высокой эффективностью и универсальностью. Технически обоснованный выбор электродных материалов как для обеспечения требуемой износостойкости покрытия, так и его инертности в отношении среды эксплуатации способствует увеличению ресурса объекта с ЭИ покрытием. Положительному антикоррозионному эффекту способствует также применение методов химической защиты износостойких покрытий.

Библиографический список

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Наукоемкие технологии машиностроительного производства: Физико-химические методы и технологии. М.: Форум. 2013. 928 с.

2. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х. Состояние и развитие электроискровых техно-

логий и оборудования в России и за рубежом // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 109. N2. С. 127-139.

3. Dong S.J., Zhou Y. Effects of TiC Composite Coating on Electrode Degradation in Microresistance Welding of Nickel-Plated Steel. Metallurgical and materials transactions. 2003. N34A. 1501-1511.

4. Lesnjak A., Tusek J. Processes and properties of deposits in electrospark deposition. Science and Technology of Welding and Joining. 2002. N7(6). 391-396.

5. Liu J., Wang R., Qian Y. The formation of a single-pulse electrospark deposition spot. Surface & Coatings Technology. 2005. N200. 2433-2437.

6. Frangini S., Masci A.A. study on the effect of a dynamic contact force control for improving electrospark coating properties. Surface & Coatings Technology. 2010. N204. 2613-2623.

7. Chen Z., Zhou Y. Surface modification of resistance welding electrode by electrospark deposited composite coatings: Part I Coating characterization. Surface & Coatings Technology. 2006. N201. 1503-1510.

8. Johnson R.N. Electrospark deposition: principle and application. Society of Vacuum Coaters 45th Annual Technical Conference. Lake Buena Vista. 2002. 87-92.

9. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. Упрочнение и восстановление деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами (обзор). Сварочное производство. 2014. N7. С. 32-36.

10. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. М.: Металлургия. 1986. 359 с.

11. Иванов В.И. Электроискровое легирование при производстве, обслуживании и ремонте техники: перспективы // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 133-139.

12. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения (справочник). 2-е изд. М.: Металлургия. 1976. 560 с.

13. Паршутин В.В., Парамонов А.М., Пасинковский Э.А., Коваль А.В., Чернышева Н.В., Шолтоян Н., Иванов В.И. Повышение коррозионной стойкости электроискровых покрытий на сталях // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 110. N2. С. 120-123.

14. Козырь А.В., Глабец Т.В., Верхотуров А.Д. Исследование состава, структуры и свойств упрочненных слоев, сформированных хромоникелевыми сплавами методом ЭИЛ, после коррозионных испытаний в 0,1 н. растворе H_2SO_4. Вестник Амурского государственного университета. Естественные и экономические науки. 2007. N39. С. 13-18.

15. Козырь А.В. Исследование коррозионной и жаростойкости стали 45, легированной хромоникелевыми сплавами электроискровым методом. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Комсомольск-на-Амуре. 2005. 23 с.

References

1. Morgunov Yu.A., Panov D.V., Saushkin B.P., Saushkin S.B. Naukoyemkiye tekhnologii mashinostroitel'nogo proizvodstva: Fiziko-khimicheskiye metody i tekhnologii [Science-intensive technologies of machine-building production: Physico-chemical methods and technologies]. Moscow: Forum. 2013. 928 (In Russian).

2. Ivanov V.I., Burumkulov F.Kh. Sostoyaniye i razvitiye elektroiskrovykh tekhnologiy i oborudovaniya v Rossii i za rubezhom [State and development of electric spark technologies and equipment in Russia and abroad]. Trudy GOSNITI. 2012. Vol. 109. N2. 127-139 (In Russian).

3. Dong S.J., Zhou Y. Effects of TiC Composite Coating on Electrode Degradation in Microresistance Welding of Nickel-Plated Steel. Metallurgical and materials transactions. 2003. N34A. 1501-1511.

4. Lesnjak A., Tusek J. Processes and properties of deposits in electrospark deposition. Science and Technology of Welding and Joining. 2002. N7(6). 391-396.

5. Liu J., Wang R., Qian Y. The formation of a single-pulse electrospark deposition spot. Surface & Coatings Technology. 2005. N200. 2433-2437.

6. Frangini S., Masci A. A study on the effect of a dynamic contact force control for improving electrospark coating properties. Surface & Coatings Technology. 2010. N204. 2613-2623.

7. Chen Z., Zhou Y. Surface modification of resistance welding electrode by electrospark deposited composite coatings: Part I Coating characterization. Surface & Coatings Technology. 2006. N201. 1503-1510 (In English).

8. Johnson R.N. Electrospark deposition: principle and application. Society of Vacuum Coaters 45th Annual Technical Conference. Lake Buena Vista. 2002. 87-92 (In English).

9. Lyalyakin V.P., Solov'yev S.A., Aulov V.F. Uprochneniye i vosstanovleniye detaley pochvoobrabatyvayushchikh mashin svarochno-naplavochnymi metodami (obzor) [Hardening and restoration of parts of tillage machines by welding and surfacing methods (review)]. Svarochnoye proizvodstvo. 2014. N7. 32-36 (In Russian).

10. Tomashov N.D., Chernova G.P. Teoriya korrozii i korrozionnostoykiye konstruktsionnyye splavy [Corrosion theory and corrosion resistant structural alloys]. Moscow: Metallurgiya. 1986. 359 (In Russian).

11. Ivanov V.I. Elektroiskrovoye legirovaniye pri proizvodstve, obsluzhivanii i remonte tekhniki: perspektivy [Electric spark alloying in the production, maintenance and repair of equipment: prospects]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122. 133-139 (In Russian).

12. Samsonov G.V., Vinnitskiy I.M. Tugoplavkiye soyedineniya (spravochnik). 2-e izd [Refractory compounds (reference). 2nd ed]. Moscow: Metallurgiya. 1976. 560 (In Russian).

13. Parshchutin V.V., Paramonov A.M., Pasinkovskiy E.A., Koval' A.V., Chernysheva N.V., Sholtoyan N., Ivanov V.I. Povysheniye korrozionnoy stoykosti elektroiskrovykh pokrytiy na stalyakh [Increase of corrosion resistance of electric spark coatings on steels]. Trudy GOSNITI. 2012. Vol. 110. N2. 120-123 (In Russian).

14. Kozyr'A.V., Glabets T.V., Verkhoturov A.D. Issledovaniye sostava, struktury i svoystv uprochnennykh sloyev, sformirovannykh khromonikelevymi splavami metodom EIL, posle korrozionnykh ispytaniy v 0,1 n. rastvore H2SO4 [Studying of composition, structure and properties of hardened layers formed by chromium-Nickel alloys by EIL method after corrosion tests in 0.1 n. H2SO4 solution]. Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye i ekonomicheskiye nauki. 2007. N39. 13-18. (In Russian).

15. Kozyr' A.V. Issledovaniye korrozionnoy i zharostoykosti stali 45, legirovannoy khromonikelevymi splavami elektroiskrovym metodom. Avtoref. diss. kand. tekhn. Nauk [Studying of corrosion and heat resistance of 45 steel, alloyed with chromium-nickel alloys by electric spark method. Abstract of diss. cand. tech. sciences]. Komsomol'sk-na-Amure. 2005. 23 (In Russian).

УДК 631.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ВЫВЕДЕННОЙ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ

Алексей Семенович Дорохов, доктор технических наук,
член-корреспондент Российской академии наук;
Валерий Сергеевич Герасимов;
Владимир Ильич Игнатов, доктор технических наук,
главный специалист;
Сергей Анатольевич Буряков, старший научный сотрудник,
e-mail: rosagroserv@list.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Реферат. *CALS-технологии получили активное развитие в России в конце XX века в различных отраслях промышленности. Стратегия CALS предусматривает создание информационного пространства предприятия, позволяющего хранить информацию в электронном виде и выступающего как единый источник данных для всех участников жизненного цикла изделия. (Цель исследования) Обосновать возможность использования цифровых технологий при формировании ресурсосберегающей эколого-ориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники. (Материалы и методы) Четвертая промышленная революция предусматривает максимальное использование глобальных сетей. Показали, что основным объектом этой индустрии стала обрабатывающая промышленность, которая, потребляя основную долю материальных ресурсов, постоянно расширяет объемы и ассортимент выпускаемой продукции. CALS-технологии активно развивались в последние годы в различных отраслях промышленности России. Разработали концепцию развития данного направления, которая в настоящее время реализуется и модернизируется. (Результаты и обсуждение) Отметили, что введение расширенной ответственности производителей продукции за утилизацию выведенной из эксплуатации техники стало важнейшим шагом для перехода на созданную концепцию. Развитие в России отрасли информационных технологий должно охватывать важнейшие элементы жизненного цикла продукции. Выявили, что цифровые технологии позволяют определять затраты на проведение определенных операций на протяжении жизненного цикла продукции, в том числе затраты на ремонт и утилизацию техники. (Выводы) ВИМ разработал ряд проектов моделей ресурсосберегающих эколого-ориентированных систем утилизации сельскохозяйственной техники на региональном уровне с использованием цифровых технологий (для агропромышленного комплекса Краснодарского края, Рязанской, Воронежской областей).*

Ключевые слова: *утилизация техники, классификация, циркулярная экономика, ресурсосбережение, жизненный цикл продукции, информационные технологии, CALS-технологии, стандарты.*

Для цитирования: *Дорохов А.С., Герасимов В.С., Игнатов В.И., Буряков С.А. Использование цифровых технологий при формировании системы утилизации выведенной из эксплуатации техники // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 109-117.*

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE FORMATION OF THE DISPOSAL SYSTEM FOR DECOMMISSIONED EQUIPMENT

Aleksey S. Dorokhov, Dr. Sc. (Eng.),
corresponding member of Russian Academy of Sciences;
Valeriy S. Gerasimov;
Vladimir I. Ignatov, Dr. Sc. (Eng.), chief specialist;
Sergey A. Buryakov, senior researcher, e-mail: rosagroserv@list.ru
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *CALS-technologies were actively developed in Russia at the end of the 20th century in various industries. The CALS strategy provides the creation of an enterprise information space that allows storing information in electronic form and acting as a single source of data for all participants in the product life cycle. (Research purpose) The research purpose is justification of digital technologies in the formation of resource-saving eco-oriented system of utilization of agricultural machinery. (Materials and methods) The fourth industrial revolution involves the maximum use of global networks. The article shows the main object of this industry became the manufacturing industry, which, consuming the bulk of material resources, is constantly expanding the volume and range of products. CALS-technologies have been actively developing in recent years in various industries of Russia. The article describes the concept of development of this direction, implementation and modernization (Results and discussion) The article notes that introduction of the expanded liability of manufacturers for the disposal of decommissioned equipment became an important step for the transition to this concept. The development of the information technology industry in Russia should cover the most important elements of the product life cycle. We have revealed that digital technologies make it possible to determine the costs of certain operations during the housing and communal services, including the costs of repair and disposal of equipment.(Conclusion) FGBSI FSAC VIM has developed a number of models of resource-saving eco-oriented systems for utilization of agricultural machinery at the regional level using digital technologies (for agriculture of the Krasnodar, Ryazan, Voronezh regions).*

Keywords: *equipment utilization, classification, circular economy, resource saving, product life cycle, information technologies, CALS-technologies, standards.*

For citation: *Dorokhov A.S., Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Buryakov S.A. Ispol'zovaniye tsifrovykh tekhnologiy pri formirovanii sistemy utilizatsii vyvedennoy iz ekspluatatsii tekhniki [The use of digital technologies in the formation of the disposal system for decommissioned equipment]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 109-117 (In Russian)*

Введение. Отсутствие полноценной информации в цепи управления полным жизненным циклом продукции (ЖЦП), включая сельскохозяйственную технику, зачастую приводит к затруднению исследователей и специалистов при формировании системы утилизации выведенной из эксплуатации техники.

В связи с актуальностью этой проблемы рассмотрели и изучили зарубежный и российский опыт по возможности использования цифровых технологий при формировании системы утилизации техники, так как для функционирования этой системы необходимо работать с большим количеством данных, связанных с протекающими процессами утилизации, а также постоянно следить за изменением состояния и свойств материалов [1-5].

Для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов в настоящее время применяют различные автоматизированные системы, позволяющие сформировать Единую интегрированную модель изделия с целью управления полным жизненным циклом этого изделия. Управление ЖЦП обеспечивает PLM (Product Lifecycle Management) система, которая объединяет методики и средства информационной поддержки продукции на протяжении всех этапов ее жизненного цикла и являются основой, объединяющей информационное пространство, в котором функционируют автоматизированные системы многих предприятий [6].

Цель исследования – обосновать возможность использования цифровых технологий при формировании ресурсосберегающей эколого-ориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. В настоящее время под полным ЖЦП понимают совокупность взаимосвязанных процессов изменения ее состояния от замысла до утилизации, которые включают несколько этапов (стадий), то есть частей жизненного цикла, выделяемых по признакам характерных для нее явлений, процессов (работ) и конечных результатов. На рисунке 1 показаны основные этапы (стадии) ЖЦП. Их можно разделить на две сферы деятельности: производство продукции и ее потребление.

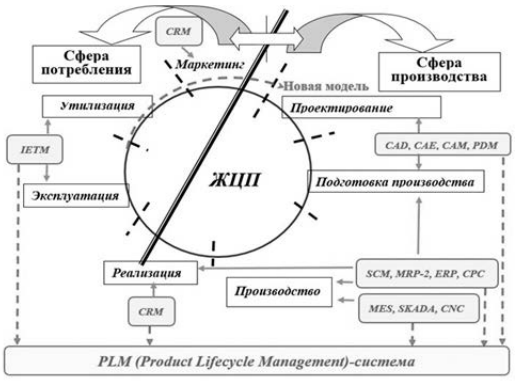


Рис. 1. Основные этапы (стадии) жизненного цикла продукции и автоматизированные системы, используемые для этих этапов

Рис.1. Основные этапы (стадии) жизненного цикла продукции и автоматизации системы, используемые для этих типов

До последнего времени техническое сопровождение производителей тех-

ники заканчивалось этапом эксплуатации. Требования нормативных документов о необходимости утилизации выведенной из эксплуатации техники, имеющиеся в конструкторских, эксплуатационных и ремонтных нормативных документах носили чисто декларативный характер и не выполнялись (и не выполняются в России до сих пор) ее производителями.

Разработку, совершенствование и использование таких систем более 40 лет назад начали осуществлять производители военной техники Великобритании, США, Германии и другие. Разработанный Министерством обороны Великобритании на основе американского и собственно британского опыта стандарт DEF STAN 00-60 «Интегрированная логистическая поддержка» получил в Европе de-facto международный статус и применяется как для военной, так и для гражданской продукции.

На основе этого стандарта сформировался комплекс CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support), под которым понимается непрерывная информационная поддержка поставок и управление полным жизненным циклом изделия. В России внедрение CALS (ИПИ)-технологий находится на начальном этапе и происходит без комплексной проработки вопроса в масштабах страны.

Отдельные элементы CALS-технологий внедрены на ВАЗе, АВПК «Сухой», МАПО «МиГ», ММПП «Салют» и других предприятиях. Однако работы по внедрению CALS-технологий проводятся бессистемно, разрозненно, а зачастую и с применением «местнической» (локальной) политики [7, 8].

Для внедрения CALS-технологий в России необходимо:

- преодолеть психологический барьер осознания необходимости решения проблемы в целом и комплексно;

- изыскивать финансовые средства (на начальном этапе, возможно, значительные) как для реструктуризации отдельных физических предприятий, так и для создания общих «виртуальных предприятий»;

- оперативно создавать нормативную базу, которая станет фундаментом решения всех проблем; для этого следует объединять ресурсы (в первую очередь финансовые) для разработки и внедрения стандартов и других нормативных документов в области CALS-технологий.

Проведенные исследования показали, что проблемы формирования ресурсосберегающей эколого-ориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники (СХТ) напрямую связаны с CALS-технологиями. В *таблице* наглядно представлены значительные объемы потоков (техника, детали, компоненты утилизации, стоимостные показатели и т.д.), управление которыми невозможно без использования CALS-технологий.

Технология утилизации направлена на снижение общих издержек по всему жизненному циклу изделия, включая учет затрат, связанных с поддержанием работоспособности устаревшего оборудования. По завершению утилизации сопоставляют фактические и предполагаемые затраты. Как правило, это делается после вывода изделия из эксплуатации. При разработке процессов утилизации предусматривают меры, предотвращающие ущерб для окружающей среды.

Использование CALS-технологий предполагает следующие методы:

- системность подхода к информационной поддержке жизненного цикла (ЖЦ) изделия как по охвату процессов, так и по охвату участников работ (не ограничивая число предприятий и их географическое расположение);

- отказ от бумажного документооборота с переходом к максимально ши-

рокому использованию электронных данных с общим доступом к ним;

- организацию инженерного труда и производственных процессов на основе современных компьютерных технологий, автоматизированных методов и средств разработки и производства продукции;

- максимальное применение международных стандартов, определяющих форматы представления и методы обработки (преобразования) данных;

- ориентацию на преимущественное использование универсальных программных и аппаратных решений, представленных на открытом рынке.

Таблица

Прогнозная оценка объемов вторичных ресурсов утилизируемой самоходной СХТ до 2022 г. (по данным исследований ВИМ)

№ п/п	Наименование	Тракторы	Зерн. комбайны	Корм. комбайны
1	Количество техники на 01.01.2019 г., тыс. шт.	447	125	17
2	Списание техники до 2022 г., тыс. шт.	80-85	20-25	2-2,5
3	Количество годных деталей утилизируемой СХТ до 2022 г., млн шт.	90-95	48-50	4-4,5
4	Количество деталей, которые могут быть восстановлены до 2022 г., млн шт.	76-80	70-75	3,8-4
5	Количество деталей на утилизацию (переработку) до 2022 г., млн шт.	55-58	32-34	3,5-4
6	Стоимость годных и восстановленных деталей утилизируемой СХТ до 2011 г. млрд руб.	46-48	31-33	2,3-3
7	Стоимость металлолома списываемой СХТ до 2011 г. млрд руб.	12-12,5	4,3-4,5	0,6-0,65
8	Общая стоимость вторичных ресурсов утилизируемой СХТ до 2022 г., млрд руб.	92-95	38-40	5-5,4

Реализация указанных принципов для системы утилизации сельскохозяйственной техники приведет к образованию одной глобальной структурированной базы данных, которая будет содержать данные по количеству материалов, полученных с каждой единицы техники, их состоянию и свойствам. Соответственно, для того чтобы эти данные стали известны и попали в базу, необходимо, чтобы все требования к процедурам утилизации были заранее определены и задокументированы, а соответствующие затраты оценены. На этапе проектирования должны принимать меры по обеспечению технологичности разделки финального изделия и его составных частей и определять сам способ утилизации. При необходимости для выполнения этих работ разрабатывают техническое задание на специальное технологическое оборудование.

Для решения задач по обеспечению работы информационной поддержки изделия используют такой инструмент, как анализ логистической поддержки. Он включает в себя анализ условий и возможных режимов эксплуатации изделия, его конструкции, технического обслуживания, включающий выбор методов и технологий выполнения работ по ТО с оценкой их трудоемкости и продолжительности, определение потребностей в матери-

альных и трудовых ресурсах, разработку методического обеспечения системы сбора данных (мониторинга).

Полученные результаты накапливаются в базе данных и используются при реализации этапов жизненного цикла. Пример такой базы данных показан на *рисунке 2*.

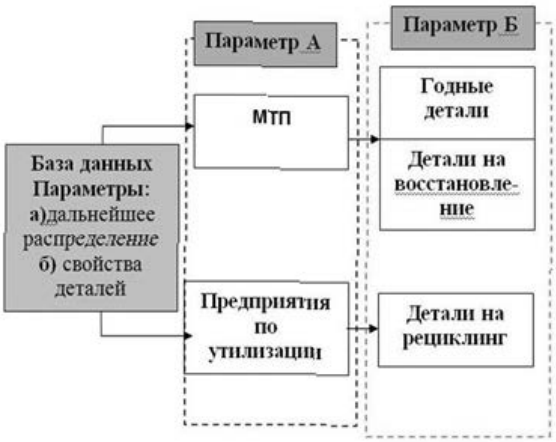


Рис.2. Примет модели базы данных по утилизации СХТ

Одним из краеугольных камней применения технологий информационной поддержки (ИПИ) ЖЦ является стандартизация процессов и технологий информационного взаимодействия всех участников ЖЦ изделия на всех его стадиях [7].

На сегодняшний день уже существует программное обеспечение, которое способно реализовать все эти функции. Хорошим примером такого приложения служит программа Silver Date. Хоть она и ориентирована на пассажирские и грузовые автомобили, но ее можно использовать и для сельскохозяйственной техники. Соответственно, программа имеет данные по каждому из типов техники, способы и методы ее разбора, расчетную часть, способную определить стоимость восстановительных и ремонтных работ, а также дальнейшую реализацию деталей с определением что выгоднее: восстановить и повторно использовать или утилизировать деталь.

Согласно исследованиям, проведенным ВИМ, количество деталей, которые находятся в пригодном состоянии и которые можно повторно использовать без значительных процессов восстановления, в вышедшей из эксплуатации сельскохозяйственной технике составляет около 32% от общего количества [8, 9]. Около 36% из разобранных машин могут быть восстановлены, используя разработанные технологические процессы, а остальные должны быть переданы на утилизацию. Наример, возьмем трактор К-744Р и комбайн Torum 780. Согласно данным ВИМ, от общего веса этих моделей можно вернуть в оборот до 4000 деталей, что составляет до 5 тонн их металлофонда. Соотношение и количество деталей для данных моделей техники показано на *рисунке 3.* Получается, что из всего количества деталей можно выделить три материальных потока, каждый из которых имеет свою конечную стадию в ЖЦ. Годные детали должны быть возвращены на начальные стадии ЖЦ, другие – отправлены на восстановление с помощью специального оборудования и затем также возвращены в цикл, и третьи – на утилизацию.

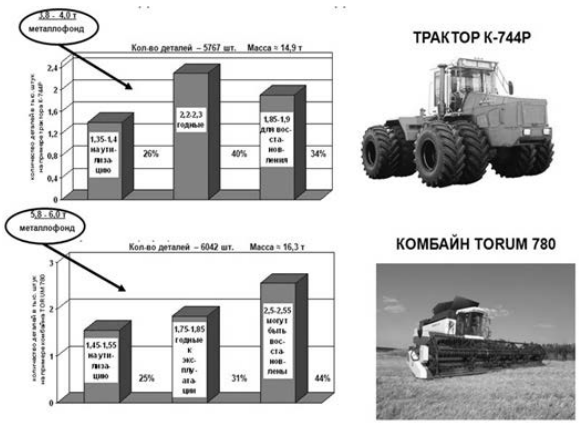


Рис.3. Количество деталей и металлофонд утилизируемых машин

Необходима информационно-логистическая поддержка на всем протяжении выполнения этих процессов. Основные параметры и свойства, которые должны будут сохраняться и учитываться в созданной базе данных, – состояние деталей и их количество. На этом основании и будут определять их дальнейшее назначение и рассчитывать количество затраченных и полученных финансовых ресурсов.

Результаты и обсуждение. Отставание России в сфере разработки и использования информационных технологий затрудняет промышленным предприятиям выполнение требований современных стандартов, касающихся создания сквозных информационных технологий для полного ЖЦП, включая формирование систем утилизации выведенной из эксплуатации техники. Проведенный расширенный анализ сложившейся ситуации показывает, что в последние годы ужесточились международные требования потребителей к производителям продукции и особенно к производителям материало- и наукоемкой техники, которая становится все сложнее и дороже.

В этих международных требованиях, заложенных в нормативно-законодательные акты, сформулирован уровень ответственности производителей на всех этапах ЖЦП, а также необходимость разработки мероприятий по интегрированной логистической поддержки полного ЖЦП от проектирования до утилизации, основанных на соответствующих сквозных цифровых технологиях. Применение CALS (ИПИ)-технологий для формирования системы утилизации сельскохозяйственной техники позволит создать общую базу данных, которая будет основываться на конечном состоянии деталей и их переменных свойствах. Также их применение даст возможность обеспечить логистическую поддержку всех составляющих материальных потоков техники на протяжении всего ЖЦ. Кроме того, использование общего программного обеспечения, направленное для выполнения этих функций, создаст необходимые условия для работы и поддержания функциональности системы. Интегрированная логистическая поддержка ЖЦП также представляет для нас большой интерес, поскольку должна включать в себя организацию информационной поддержки процесса ее эксплуатации, ремонта, утилизации. Она регламентирует все аспекты взаимоотношений с поставщиками машины и элементы материально-технического обеспечения (МТО) на этапах ее жизненного цикла. В общем случае под «логистической систе-

мой» подразумевают любую систему, в которую внедряют логистику с целью сделать эту систему более мобильной и эффективной. Использование интегрированной логистической системы снижает стоимость поддержки эксплуатации машины, а эффективность работы машины повышается за счет следующих факторов:

- непрерывного наблюдения (мониторинга) за процессом эксплуатации и ресурсом систем и узлов, что обеспечивает обоснованность последующих управленческих решений;
- разработки интегрированной системы закупки и доставки предметов материально-технического обеспечения, создания соответствующей инфраструктуры эксплуатации и стандартизации представления данных для этих процессов;
- обеспечения стандартизации методов взаимодействия между поставщиками, субпоставщиками, продавцами и потребителем.

Получаемая при этом информация позволяет определить объемы отходов, образующихся в процессе использования машины, а также уровень ее годности в течение срока службы, влияющий на момент наступления предельного состояния машины. Создание в рамках АПК единого информационного пространства или интегрированной информационной среды, охватывающей все этапы жизненного цикла эксплуатируемой продукции и обеспечивающей непрерывную поддержку на протяжении всего жизненного цикла продукции позволит отрасли существенно повысить эффективность ее работы.

Выводы

Формирование системы утилизации сельскохозяйственной техники – сложный с точки зрения реализации процесс. Для ее работы необходимо привлечь значительное количество финансовых и технических средств и использовать новейшие технологии. Однако заставить работать эту систему вполне реально, что доказано уже существующими примерами реализации похожих систем утилизации, как, например, в авиационной, так и частично в автомобильной технике. Для практического использования специалисты ВИМ разработали ряд проектов моделей ресурсосберегающих эколого-ориентированных систем утилизации сельскохозяйственной техники на региональном уровне с использованием цифровых технологий (для АПК Краснодарского края, Рязанской, Воронежской областей).

Библиографический список

1. Кобяков А. Вызовы XXI века: как меняет мир четвертая промышленная революция // РБК. 2016. 12 февр.

2. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2002. 130 с.

3. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон РФ от 24.06.1998 № 89-ФЗ [принят Гос. Думой 22.05.1998 г.: ред. от 29.07.2018] // СПС КонсультантПлюс.

4. Бойкова А.В. Полный жизненны цикл продукции военного назначения // Проблемы экономики и менеджмента. 2016. N10(62). С. 7-9.

5. Елизаров П.М. Контракты жизненного цикла для народнохозяйственной продукции и вооружения, военной и специальной техники: сходство и различия // Машиностроение и смежные отрасли. 2014. N8(92). С. 29-33.

6. Левин А.И., Судов Е.В. Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла продукции // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса.

Киев: Техника. 2001. С. 612-625.

7. Судов Е.В., Левин А.И. Анализ логистической поддержки: теория и практика. М.: ООО Издательство «ИнформБюро». 2014. 260 с.

8. 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.

9. Соловьев С.А., Герасимов В.С., Игнатов В.И. Зачем нужна система утилизации техники // Материалы Международной научно-практ. конференции на 25-й Международной специализированной выставке «Белагро-2015». Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. 2015. С. 86-96.

References

1. Kobyakov A. Vyzovy XXI veka: kak menyayet mir chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya [Challenges of the XXI century: how the fourth industrial revolution changes the world]. RBK. 2016. 12 febr (In Russian).

2. Sudov E.V., Levin A.I. Kontseptsiya razvitiya CALS-tekhnologiy v promyshlennosti Rossii [Concept of development of CALS-technologies in Russian industry]. Moscow: NITS CALS-tekhnologiy «Prikladnaya logistika». 2002. 130 (In Russian).

3. Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya: Federal'nyy zakon RF ot 24.06.1998 № 89-FZ [prinyat Gos. Dumoy 22.05.1998 g.: red. ot 29.07.2018] [On production and consumption waste: Federal law of the Russian Federation No. 89-FZ of 24.06.1998. SPS Konsul'tantPlyus (In Russian).

4. Boykova A.V. Polnyy zhiznenny tsikl produktsii voyennogo naznacheniya [Full life cycle of military products]. Problemy ekonomiki i menedzhmenta. 2016. N10(62). 7-9. (In Russian).

5. Elizarov P.M. Kontrakty zhiznennogo tsikla dlya narodnokhozyaystvennoy produktsii i vooruzheniya, voyennoy i spetsial'noy tekhniki: skhodstvo i razlichiya [Life cycle contracts for national economic products and armaments, military and special equipment: similarities and differences] . Mashinostroyeniye i smezhnyye otrasli. 2014. N8(92). 29-33 (In Russian).

6. Levin A.I., Sudov E.V. Kontseptsiya i tekhnologii komp'yuternogo soprovozhdeniya protsessov zhiznennogo tsikla produktsii [Concept and technologies of computer support of product life cycle processes]. Informatsionnyye tekhnologii v naukoyemkom mashinostroyenii. Komp'yuternoye obespecheniye industrial'nogo biznesa. Kiyev: Tekhnika. 2001. 612-625. (In Russian).

7. Sudov E.V., Levin A.I. Analiz logisticheskoy podderzhki: teoriya i praktika [Analysis of logistics support: theory and practice]. Moscow: OOO Izdatel'stvo «InformByuro». 2014. 260. (In Russian).

8. Solov'yev S.A., Fedorenko V.F., Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Makuyev V.A., Golubev I.G. Utilizatsiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: problemy i resheniya [Recycling of agricultural machinery: problems and solutions]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2015. 171 (In Russian).

9. Solov'yev S.A., Gerasimov V.S., Ignatov V.I. Zachem nuzhna sistema utilizatsii tekhniki [Why do we need a system of recycling equipment]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konferentsii na 25-y Mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavke «Belagro-2015». Minsk: Institut sistemnykh issledovaniy v APK NAN Belarusi. 2015. 86-96 (In Russian).

УДК 631.354.022:620.178.162

УПРОЧНЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА ЖАТОК ИЗНОСОСТОЙКИМИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Александр Викторович Коломейченко[1], доктор технических наук, профессор;
Юрий Алексеевич Кузнецов[2], доктор технических наук, профессор;
Игорь Николаевич Кравченко[3], доктор технических наук, профессор;
Иван Сергеевич Кузнецов[2], кандидат технических наук;
Татьяна Александровна Лабусова[1], аспирант;
Зоя Николаевна Мишина[4] – старший научный сотрудник
e-mail: zoy4538@mail.ru
[1]Центр сельскохозяйственного машиностроения «НАМИ», Москва, Российская Федерация;
[2]Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Российская Федерация;
[3]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
[4]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Одним из возможных путей повышения производительности электроискровой обработки и износостойкости электроискровых покрытий является создание в них нанокристаллической структуры. (Цель исследования) Разработать технологию упрочнения режущих поверхностей пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электроискровыми покрытиями из нанокристаллического сплава. (Материалы и методы) Выбрали в качестве объекта исследований пальцы жаток наиболее распространенных современных отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнов, упрочненные износостойкими нанокристаллическими покрытиями. Рекомендовали два маршрута их упрочнения в зависимости от износа пальцев. Обосновали использование нанокристаллического сплава в качестве электродных материалов при электроискровой обработке. (Результаты и обсуждение) Разработали схему типового технологического процесса упрочнения пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электроискровыми покрытиями из нанокристаллического сплава. Проверили в производственных условиях эффективность разработанной технологии. Построили зависимости износа режущих поверхностей пальцев жаток от их наработки и дали оценку их износостойкости и ресурса. (Выводы) Предложили технологию упрочнения пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электроискровыми покрытиями из нанокристаллического сплава. Установили, что нанесение на режущие поверхности пальцев жаток электроискровых покрытий и нанокристаллического сплава позволяет повысить их износостойкость в 1,7-2,2 раза по сравнению с серийными, а ресурс в 1,4-2 раза.*

Ключевые слова: *режущий аппарат жаток, электроискровая обработка, электроискровое покрытие, нанокристаллический сплав, износостойкость.*

Для цитирования: *Коломейченко А.В., Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Кузнецов И.С., Лабусова Т.А., Мишина З.Н. Упрочнение изношенных деталей режущего аппарата жаток износостойкими нанокристаллическими покрытиями // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 118-126.*

HARDENING OF WORN PARTS OF THE HEADER CUTTING PART WITH WEAR-RESISTANT NANOCRYSTALLINE COATINGS

Aleksandr V. Kolomeychenko[1], Dr. Sc. (Eng.), professor;
Yuriy A. Kuznetsov[2], Dr. Sc. (Eng.), professor;
Igor' N. Kravchenko[3], Dr. Sc. (Eng.), professor;
Ivan S. Kuznetsov[2], PhD (Eng.);
Tat'yana A. Labusova[1], aspirant;
Zoya N. Mishina[4] – senior researcher
[1] Center of Agricultural Engineering "NAMI", Moscow, Russian Federation;
[2] Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation;
[3] Russian State Agrarian University –Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
[4] Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *One of the possible ways of increasing the performance of electric spark processing and the wear resistance of electric spark coatings is creating a nanocrystalline structure in them. (Research purpose) The research purpose is development of a technology for hardening the cutting surfaces of pins of the headers of combine harvesters with electrospark coatings of a nanocrystalline alloy. (Materials and methods) We have chosen as the object of research the pins of headers of the most common modern domestic and foreign combine harvesters, reinforced with wear-resistant nanocrystalline coatings. Authors recommend two ways of their hardening depending on wear of pins. The use of nanocrystalline alloy as electrode materials in electric spark processing was substantiated. (Results and discussion) The article describes a scheme of a typical technological process of strengthening the pins of harvesters with electric spark coatings made of nanocrystalline alloy. The efficiency of the developed technology was checked in production conditions. Wear of cutting surfaces of pins on their operating time was obtained and their wear resistance and resource were estimated. (Conclusion) The article proposes a technology for strengthening the pins of harvesters with electric spark coatings of nanocrystalline alloy. It was found that the application of electric spark coatings and nanocrystalline alloy to the cutting surfaces of the header's pins allows to increase their wear resistance by 1.7-2.2 times compared to the serial ones, and to increase the resource by 1.4-2 times.*

Keywords: *cutting machine header, electrospark processing, electrospark coating, nanocrystalline alloy, wear resistance.*

For citation: *Kolomeychenko A.V., Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Kuznetsov I.S., Labusova T.A., Mishina Z.N. Uprochneniye iznoshennykh detaley rezhushchego apparata zhatok iznosostoykimi nanokristallicheskimi pokrytiyami [Hardening of worn parts of the header cutting part with wear-resistant nanocrystalline coatings]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 118-126 (In Russian).*

Введение. Одними из часто изнашиваемых деталей сельскохозяйственной техники становятся режущие детали жаток зерноуборочных комбайнов, износ которых влияет на скорость уборки и на производительность комбайна в целом [1-3]. Для повышения ресурса необходимо на изнашивающихся поверхностях создавать упрочненные слои или покрытия с высокими физико-механическими свойствами [4-6]. Существующие способы восстановления и упрочнения как на стадии изготовления, так и при ремонте не лишены недостатков, которые ограничивают область применения той или иной технологии. Одним из перспективных методов создания восстанавливающих и упрочняющих покрытий на рабочих поверхностях деталей машин, в значительной мере лишенным многих недостатков и получающим в последнее время все более широкое распространение, служит электроискровая обработка (ЭИО) [7, 8]. Он основан на явлении электрической эрозии и переноса материала анода (электрода) на катод (деталь) при прохождении электрических разрядов в газовой среде, в результате чего на металлической поверхности формируется электроискровое покрытие (ЭИП).

Одним из возможных путей увеличения производительности ЭИО и износостойкости ЭИП стало создание в них нанокристаллической структуры. Получение данных ЭИП возможно при использовании соответствующих электродных материалов. В настоящее время большее количество таких материалов производится в виде лент толщиной 50 мкм, получаемых быстрой закалкой из жидкого состояния со скоростью 10^6 °К/с. Данная технология изготовления нанокристаллического сплава (НКС) дает возможность получать материалы с набором уникальных свойств, которые по многим показателям превосходят традиционные сплавы. Применение НКС в качестве электродных материалов позволяет повысить производительность процесса, износостойкость рабочих поверхностей и улучшить эксплуатационные характеристики ЭИП [9]. При этом не происходит увеличение энергозатратности ЭИО. Поэтому в данной работе опишем технологию упрочнения режущих поверхностей пальцев жаток зерноуборочных комбайнов ЭИП из НКС.

Цель исследования – разработать технологию упрочнения режущих поверхностей пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электроискровыми покрытиями из нанокристаллического сплава.

Материалы и методы. Результаты экспериментальных исследований легли в основу разработки новой технологии упрочнения ЭИО пальцев режущего аппарата жаток зерноуборочных комбайнов [10-15]:

1. Палец Р230.21.000 устанавливают на жатки модели РСМ-081.27 и ЖУ-5; ЖУ-6, ЖУ-7; ЖУ-8,6 комбайнов Дон-1500, ACROS.

2. Палец DQ11499 применяют на жатках моделей 319, 323, 325 комбайнов John Deere 1165, 1175, 1185.

3. Палец H213405 используют на жатках типа 600R, 600F и 900D Drapers, комбайнов серии WTS, STS и CTS фирмы John Deere.

4. Палец KG35 379720 устанавливают на жатки типа Varifeed, High Capacity, Extra Capacity, комбайнов серий CX, CR, CS и CSX фирмы New Holland.

Разработанная технология применима для пальцев наиболее распространенных современных отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнов. Суть предлагаемой технологии заключается в следующем. Пальцы поступают в ремонт в сборе с противорежущей пластиной. Перед ремонтом детали тщательно очищаются от загрязнений, растительных остатков и сма-

зочных материалов. После очистки их подвергают дефектации. Измеряют износ и изгиб, выявляют трещины, сколы и коробление привалочной плоскости. При обнаружении на пальцах сколов, трещин, а также при износе посадочных мест под противорежущую пластину деталь бракуется. Пальцы и противорежущие пластины, имеющие износ 1 мм и более, подвергаются разборке, замене противорежущих пластин на новые, сборке, последующей заточке и упрочнению ЭИО (*рис. 1,* маршрут I). В случае если у пальцев износ противорежущих пластин имеет значение менее 1 мм, то в технологическом процессе предусматривается только проведение операций заточки и упрочнения ЭИО. Операции по разборке и замене противорежущих пластин из него исключают (*рис. 1,* маршрут II).

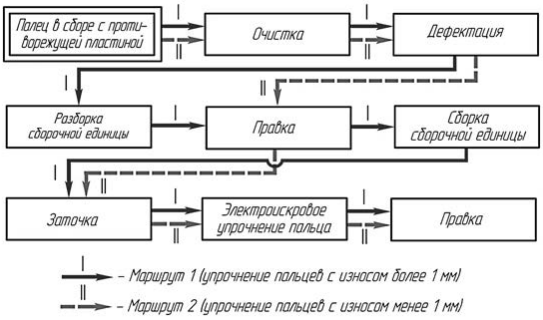


Рис. 1. Структурная схема типового технологического процесса упрочнения ЭИО пальца (на примере пальца марки Р230.21.000)

Учитывая, что 83% ремонтируемых деталей имеют износ более 1 мм, технологический процесс ремонта пальцев производится по маршруту I, предусматривающему замену изношенной противорежущей пластины на новую.

Разборку сборочной единицы проводят путем высверливания заклепок, соединяющих палец с противорежущей пластиной. После разборки палец правят ручным прессом, специальной клиновой раскаткой. Сборку осуществляют при помощи пресса путем расклепывания заклепок. После сборки деталь зажимают в специальных поворотных тисках и обрабатывают на заточном станке. На собранном пальце шлифуют режущую поверхность противорежущей пластины, обращенную к сегменту ножа, и привалочную поверхность. Поверхность противорежущей пластины шлифуют до получения радиуса скругления режущей кромки не более 0,01 мм, соблюдая технические требования ГОСТа 19777, в котором отмечено, что заклепки должны быть установлены заподлицо с поверхностью противорежущей пластины. Шлифование режущей поверхности противорежущей пластины производят до шероховатости R_a = 1,25 мкм, которая является наиболее оптимальной для нанесения ЭИП из НКС марки 5БДСР. Кроме этого, удаляют поверхностные дефекты и окислы. Шлифование привалочной поверхности проводят для обеспечения необходимого расстояния между верхней поверхностью противорежущей пластины и привалочной поверхностью, указанной в ГОСТе 19777, а также для обеспечения параллельности этих поверхностей. Далее проводят упрочнение ЭИО. На режущую поверхность, обращенную к сегменту ножа, наносят износостойкое ЭИП. ЭИО проводят электродом из сплава марки 5БДСР в два прохода. Ширина следа, оставленного электродом, должна составлять 1,5-2 мм, а толщина ЭИП – 25-30 мкм.

После этого перья пальца осаживают ручным прессом до получения зазора между нижней частью перьев и режущей поверхностью, установленного ремонтным чертежом. Далее деталь отправляют на контроль с последующей консервацией.

Результаты и обсуждение. Для оценки износостойкости режущих поверхностей деталей на предприятии Орловской области, занимающемся эксплуатацией и ремонтом сельскохозяйственной техники, провели эксплуатационные испытания экспериментальных деталей с ЭИП из НКС марки 5БДСР и серийных изделий. После обработки полученных опытных данных установили математические и графические зависимости износа от наработки, а также получили численные значения скорости изнашивания, износостойкости испытуемых экспериментальных деталей с ЭИП и серийных изделий. Определили их относительную износостойкость.

Износ и затупление как серийных изделий, так и экспериментальных деталей с ЭИП характеризуются двумя стадиями: приработкой и естественным изнашиванием. Приработка происходит главным образом в течение наработки режущих поверхностей в 1 га. В этот период наблюдается наиболее интенсивный износ рассматриваемых поверхностей. На режущих поверхностях экспериментальных деталей появляется небольшая вогнутость, а на аналогичных поверхностях серийных изделий в тоже время наблюдается явно выраженная выпуклость. Кромки серийных изделий после приработки имели радиус скругления 0,07-0,1 мм. На экспериментальных деталях похожего скругления не наблюдалось.

Процесс естественного изнашивания режущих поверхностей проходит в течение наработки от 1 га до наступления предельного состояния. Он носит монотонный характер. При этом установлено, что причины износа как у серийных изделий, так и у экспериментальных деталей, одни и те же: растительная масса, содержащая в своей ткани кристаллы кремнезема; вертикальная сила, возникающая в результате процесса резания, под воздействием которой лезвие сегмента прижимается к режущей поверхности пальца; изгиб ножа жатки под действием тягового усилия привода, которое приводит к износу режущих поверхностей в местах прогиба ножа.

Для наглядного рассмотрения результатов процесса изнашивания представлен снимок упрочненной и неупрочненной противорежущих пластин пальца Р230.21.000 после наработки 6,5 га (*рис. 2*).

Рис. 2. Общий вид противорежущих пластин:
1 – упрочненная ЭИО, 2 – неупрочненная

Толщина упрочненной противорежущей пластины превышает толщину пластины без упрочнения электроискровой обработкой.

Противорежущая пластина без упрочнения имеет прогиб и непригодна для дальнейшего использования. При этом упрочненная пластина имеет правильную форму и остаточный ресурс [8, 9, 16].

При наработке режущих поверхностей в 6,5 га проведена аппроксимация результатов функцией логарифмической регрессии, сглаживающая опытные значения.

На *рисунке 3* представлены графические зависимости износа экспериментальных деталей и серийных изделий.

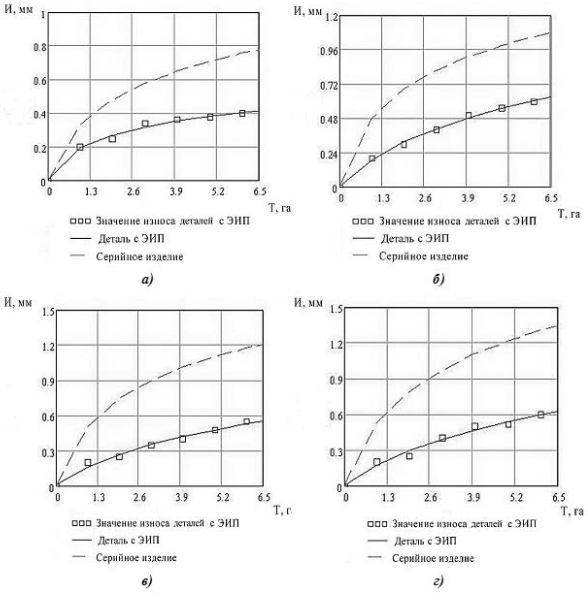


Рис. 3. Зависимости износа от наработки режущих поверхностей пальцев марки: a – H213405; b – KG 35 379720; c – DQ11499; d – P230.21.000

Эксплуатационные испытания проводили до предельного состояния испытуемых объектов. По окончании эксплуатационных испытаний определен ресурс объектов наблюдения (*рис*. 4). Установлено, что при упрочнении режущих поверхностей ЭИП из НКС марки 84КХСР ресурс пальцев в зависимости от марки увеличивается в 1,4-2 раза.

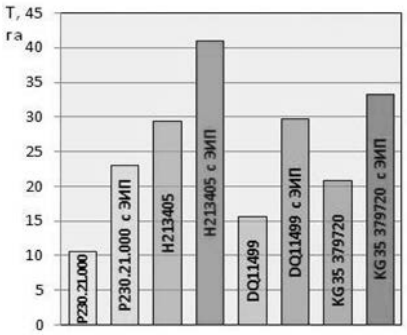


Рис. 4. Ресурс объектов наблюдения, участвующих в эксплуатационных испытаниях

При изучении износа сегментов ножей, работающих в паре с серийными изделиями или экспериментальными деталями, существенной разницы вы-

явить не удалось. Потеря работоспособного состояния сегментами ножей при эксплуатационных испытаниях происходила из-за попадания в режущую пару камней и механического износа.

Выводы. Износ и затупление как серийных изделий, так и экспериментальных деталей с ЭИП характеризуется двумя стадиями: приработкой и естественным изнашиванием. Приработка происходит в течение наработки режущих поверхностей пальцев в 1 га.

В процессе эксплуатации на режущих поверхностях деталей, выбранных для проведения исследований, наблюдается выпуклость. При этом нанесение на режущие поверхности ЭИП приводит к появлению небольшой вогнутости, что способствует эффекту самозатачивания режущих кромок.

Нанесение на режущие поверхности пальцев жаток зерноуборочной техники износостойкого ЭИП из НКС марки 5БДСР толщиной 25-30 мкм с шириной следа 1,5-2 мм позволит повысить их износостойкость не менее чем в 1,7-2,2 раза, а ресурс деталей – в 1,4-2 раза.

Библиографический список

1. Жосан А.А., Головин С.И., Михайлов М.Р. Анализ эксплуатации зарубежной техники в России // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. N4. С. 52-53.

2. Крупин А.Е., Колпаков А.В. Продление ресурса режущих аппаратов уборочных машин // Сельский механизатор. 2013. N4. С. 36-38.

3. Крупин А.Е., Лисунов Е.А., Калашов А.А. Расчет показателей надежности зерноуборочного комбайна ДОН-1500 Б // Вестник НГИЭИ. 2018. N2(81). С. 42-53.

4. Хромов В.Н., Кузнецов И.С., Петрашов А.С. Электроискровая обработка поверхностей деталей для создания износостойких объемных наноструктурированных покрытий на режущих деталях сельхозтехники // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2009. N1(16). С. 6-8.

5. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Tribotechnical properties the electrospark coating of amorphous and nanocrystalline alloys based on iron. Friction and wear. 2014. Vol. 35. N6. 501-504.

6. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Теория и практика электроискрового упрочнения режущих деталей машин аморфными и нанокристаллическими сплавами. Орел: ОрелГАУ. 2015. 174 с.

7. Хромов В.Н., Кузнецов И.С., Петрашов А.С. Электроискровая обработка поверхностей деталей как способ получения износостойких покрытий из объемных наноструктурированных частиц // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. N4. С. 23-26.

8. Бурумкулов Ф.Х., Величко С.А., Иванов В.И., Ионов П.А., Окин М.А., Столяров А.В. Электроискровые нанокомпозитные покрытия и их износостойкость // Техника в сельском хозяйстве. 2009. N1. С. 11-13.

9. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Упрочнение электроискровой обработкой режущих кромок зерноуборочных машин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2013. Т. 40. N1. С. 187-190.

10. Кузнецов И.С., Прокошина Т.С. Повышение износостойкости пальцев жаток зерноуборочных машин // Энергосберегающие технологии и техника в сфере АПК: Сборник материалов Межрегиональной выставки-конференции. 2011. С. 192-196.

11. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С., Кравченко И.Н. Исследования толщины и микротвердости электроискровых покрытий из аморфных и нанокристаллических сплавов // Сварочное производство. 2014. N10. С. 36-39.

12. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N. Investigation of the thickness

and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys. Welding International. 2015. Vol. 29. N10. 823-825.

13. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Определение рационального времени электроискровой обработки пальцев жаток зерноуборочных комбайнов электродом из аморфного сплава марки 84КХСР // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. N3. С. 35-39.

14. Кузнецов И.С., Прокошина Т.С. Анализ состояния изношенных пальцев жаток современных зерноуборочных комбайнов // Агротехника и энергообеспечение. 2017. Т. 2. N14(1). С. 5-11.

15. Kolomeichenko A., Kuznetsov Yu., Kuznetsov I. Electrospark coating from nanocrystalline alloy. Poljoprivredna tehnika. 2017. N3. 37-42.

16. Коломейченко А.В., Кузнецов И.С. Результаты эксплуатационных испытаний деталей режущего аппарата зерноуборочных машин, упрочненных электроискровой обработкой электродом из аморфного сплава 84КХСР // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. Ч. 1. С. 91-94.

References

1. Zhosan A.A., Golovin S.I., Mikhaylov M.R. Analiz ekspluatatsii zarubezhnoy tekhniki v Rossii [Analysis of operation of foreign equipment in Russia]. Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. 2009. N4. 52-53 (In Russian).

2. Krupin A.E., Kolpakov A.V. Prodleniye resursa rezhushchikh apparatov uborochnykh mashin [Extending the life of cutting parts of harvesting machines]. Sel'skiy mekhanizator. 2013. N4. 36-38 (In Russian).

3. Krupin A.E., Lisunov E.A., Kalashov A.A. Raschet pokazateley nadezhnosti zernouborochnogo kombayna DON-1500 B [Calculation of reliability indicators of DON-1500 B combine harvester]. Vestnik NGIEI. 2018. N2(81). 42-53. (In Russian).

4. Khromov V.N., Kuznetsov I.S., Petrashov A.S. Elektroiskrovaya obrabotka poverkhnostey detaley dlya sozdaniya iznosostoykikh ob"yemnykh nanostrukturirovannykh pokrytiy na rezhushchikh detalyakh sel'khoztekhniki [Electric spark surface treatment of parts for creating wear-resistant bulk nanostructured coatings on cutting parts of agricultural machinery]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. N1(16). 6-8 (In Russian).

5. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S. Tribotechnical properties the electrospark coating of amorphous and nanocrystalline alloys based on iron. Friction and wear. 2014. Vol. 35. N6. 501-504 (In English)

6. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S. Teoriya i praktika elektroiskrovogo uprochneniya rezhushchikh detaley mashin amorfnymi i nanokristallicheskimi splavami [Theory and practice of electric spark hardening of machine cutting parts by amorphous and nanocrystalline alloys]. Orel: OrelGAU. 2015. 174 (In Russian).

7. Khromov V.N., Kuznetsov I.S., Petrashov A.S. Elektroiskrovaya obrabotka poverkhnostey detaley kak sposob polucheniya iznosostoykikh pokrytiy iz ob"yemnykh nanostrukturirovannykh chastits [Electric spark surface treatment of parts as a method of obtaining wear-resistant coatings from bulk nanostructured particles]. Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya. 2009. N4. 23-26 (In Russian).

8. Burumkulov F.Kh., Velichko S.A., Ivanov V.I., Ionov P.A., Okin M.A., Stolyarov A.V. Elektroiskrovyye nanokompozitnyye pokrytiya i ikh iznosostoykost' [Electric spark nanocomposite coatings and their wear resistance]. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2009. N1. 11-13 (In Russian).

9. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S. Uprochneniye elektroiskrovoy obrabotkoy rezhushchikh kromok zernouborochnykh mashin [Hardening of cutting edges of grain harvesters by electric spark treatment]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo

universiteta. 2013. Vol. 40. N1. 187-190 (In Russian).

10. Kuznetsov I.S., Prokoshina T.S. Povysheniye iznosostoykosti pal'tsev zhatok zernouborochnykh mashin [Increase of wear resistance of pins of harvesters]. Energosberegayushchiye tekhnologii i tekhnika v sfere APK: Sbornik materialov Mezhregional'noy vystavki-konferentsii. 2011. 192-196 (In Russian).

11. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N. Issledovaniya tolshchiny i mikrotverdosti elektroiskrovykh pokrytiy iz amorfnykh i nanokristallicheskikh splavov [Studying thickness and microhardness of electric spark coatings from amorphous and nanocrystalline alloys]. Svarochnoye proizvodstvo. 2014. N10. 36-39 (In Russian).

12. Kolomeichenko A.V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N. Investigation of the thickness and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys. Welding International. 2015. Vol. 29. N10. 823-825 (In English)

13. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S. Opredeleniye ratsional'nogo vremeni elektroiskrovoy obrabotki pal'tsev zhatok zernouborochnykh kombaynov elektrodom iz amorfnogo splava marki 84KKhSR [Determination of the rational time of electric spark processing of pins of harvesters by electrode of amorphous 84KKhSR alloy]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 124. N3. 35-39 (In Russian).

K X C P -> K Kh S R, поэтому буква в середине маленькая

14. Kuznetsov I.S., Prokoshina T.S. Analiz sostoyaniya iznoshennykh pal'tsev zhatok sovremennykh zernouborochnykh kombaynov [Analysis of the state of worn pins of modern combine harvesters]. Agrotekhnika i energoobespecheniye. 2017. Vol. 2. N14(1). 5-11 (In Russian).

15. Kolomeichenko A., Kuznetsov Yu., Kuznetsov I. Electrospark coating from nanocrystalline alloy. Poljoprivredna tehnika. 2017. N3. 37-42 (In English).

16. Kolomeychenko A.V., Kuznetsov I.S. Rezul'taty ekspluatatsionnykh ispytaniy detaley rezhushchego apparata zernouborochnykh mashin, uprochnennykh elektroiskrovoy obrabotkoy elektrodom iz amorfnogo splava 84KKHSR [Results of operational tests of details of the cutting device of the combine harvesters strengthened by electric spark processing by the electrode from an amorphous 84KKhSR alloy]. Trudy GOSNITI. 2013. Vol. 111. Ch. 1. 91-94 (In Russian).

УДК 629.114.004.67

ДЕФОРМАЦИИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАПЛАВКИ

Владимир Петрович Иванов, доктор технических наук, профессор;
Татьяна Владимировна Вигерина, кандидат технических наук, доцент
Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь

Реферат. *Объяснение уменьшения длины коленчатых валов автомобильных двигателей в результате их наплавки и обоснование мер, уменьшающих эту деформацию, представляет собой актуальную задачу. (Цель исследования) Выявить причины, обусловливающие укорачивание коленчатых валов при наплавке с их количественной оценкой, и обосновать меры, уменьшающие объем этого явления. (Материалы и методы) Исследовали стальные коленчатые валы двигателей. Наносили на шейки валов восстановительное покрытие дуговой наплавкой из проволок 1,6Св-08Х13 или У7 в среде защитного газа [Ar+(20-30 процентов CO_2)]. Измерили длину детали до и после восстановления. Изучили распределение температуры материала, как по поверхности детали, так и в ее глубине методом конечных элементов с использованием T-FLEX-анализа. (Результаты и обсуждение) Выявили, что длина коленчатых валов после нескольких наплавок уменьшается до 3 миллиметра. Установили зависимость линейной деформации вала. Определили, что напряжения сжатия в материале детали в 2,8 раза меньше напряжений растяжения в материале покрытия. Отметили, что значение растягивающих напряжений в материале покрытия близко к пределу его прочности, поэтому в покрытии образуются микротрещины, снижающие усталостную прочность детали. (Выводы) Описали механизм осевого деформирования наплавленного коленчатого вала, устанавливающий влияние модуля упругости, температуру нагрева и коэффициента линейного расширения материалов восстанавливаемого изделия и покрытия и размеры наносимого валика материала на напряжения в покрытии и основном материале. Наибольшее влияние на деформацию, а, следовательно, на указанные напряжения оказывает температура нагрева материала покрытия и коэффициент линейного расширения материалов покрытия и заготовки. Число наплавок шеек валов необходимо сократить до двух в течение всего срока их службы.*

Ключевые слова: *коленчатый вал, восстановление, наплавка, деформирование, метод конечных элементов, T-FLEX-анализ.*

Для цитирования: *Иванов В.П., Вигерина Т.В. Деформации коленчатых валов при их восстановлении с использованием наплавки // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 127-135.*

DEFORMATIONS OF CRANKSHAFTS AT THEIR RECOVERY USING SURFACING

Vladimir P. Ivanov, Dr.Sc.(Eng.), professor;
Tat'yana V. Vigerina, Ph.D(Eng.), associate professor
Polotsk state University, Novopolotsk, Republic of Belarus

Abstract. *The explanation of the reduction in the length of crankshafts of automobile engines because of their surfacing and the justification of measures of reducing this deformation is an urgent task. (Research purpose) The research purpose is identification of the reasons for shortening the crankshafts during surfacing with their quantitative assessment and justification of measures for elumination this phenomenon. (Materials and methods). The authors have studied steel engine crankshafts. A reducing coating was applied to the shaft necks by arc surfacing of 1.6 SV-08Kh13 or U7 wire in a protective gas medium [Ar + (20-30prozentos CO_2)]. The length of the part was measured before and after recovery. The temperature distribution into the material, both over the surface and in its depth, was studied by the finite element method using T-FLEX analysis. (Results and discussion). The length of the crankshafts after several surfacing is reduced to 3 mm. The dependence of linear shaft deformation is identified. Compression stresses in the material of the part are 2.8 times less than tensile stresses in the coating material. The value of tensile stresses in the coating material is close to its tensile strength; therefore, microcracks are formed in the coating, which reduce the fatigue strength of the part. (Conclusion). The article describes the mechanism of axial deformation of the surfaced crankshaft, describes the effect of the elastic modulus, heating temperature and linear expansion coefficient of materials of the restored part and coating and the dimensions of the surfaced material roller on stresses in the coating and the main material. The greatest influence on the deformation, and on the described stresses is exerted by the heating temperature of the coating material and the coefficient of linear expansion of the coating materials and the workpiece. The number of surfacing of the necks of the shafts must be reduced to two during the entire period of their service.*

Keywords: *crankshaft, restoration, surfacing, deformation, finite element method, T-FLEX analysis.*

For citation: *Ivanov V.P., Vigerina T.V. Deformatsii kolenchatykh valov pri ikh vosstanovlenii s ispol'zovaniyem naplavki [Deformations of crankshafts at their recovery using surfacing]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 127-135. (In Russian).*

Введение. Априори следует ожидать, что длина восстановленных деталей, которые подвергались нанесению покрытий с помощью источников тепла, или не изменяется, или увеличивается. Однако практика восстановления коленчатых валов показывает, что от восстановления к восстановлению длина наплавленной детали уменьшается [1, 2]. При этом бывали случаи, когда восстановленный коленчатый вал касался щеками коренных опор корпусной детали или его вообще невозможно было установить в блок цилиндров при сборке двигателя. Зачастую при наплавке коленчатых валов к ним прикладывают растягивающую силу от пневмоцилиндра, которая умень-

шает изменение длины детали. Таким образом, выявление механизма деформирования коленчатых валов в результате их наплавки и обоснование мер, уменьшающих это деформирование, являются актуальной задачей.

Цель исследования – выявить причины, обусловливающие укорачивание коленчатых валов при наплавке с их количественной оценкой, и обосновать меры, уменьшающие объем этого явления.

Материалы и методы. В качестве образцов использовали коленчатые валы автомобильных рядных двигателей, изготовленных из углеродистой конструкционной стали 45. На шейки валов наносили восстановительное покрытие дуговой наплавкой из проволок 1,6Св-08Х13 или У7 (последнюю в исследовательских целях) в среде защитного газа [Ar + (20-30% CO_2)]. Покрытия наносили на заводском наплавочном станке, созданном на базе списанного токарного станка модели 16К20. Передняя и задняя бабки станка подняты над станиной на втулках и закреплены болтами так, чтобы вращающийся коленчатый вал не касался суппорта. Частота вращения вала при наплавке составляла 1,5-2,0 мин$^{-1}$, для обеспечения которой в привод главного движения введен дополнительный редуктор. Механизм для подачи проволоки установлен на суппорте станка и изолирован вместе с проволочной кассетой от остальной части установки. Напряжение подавали к медному вращающемуся кольцу на шпинделе установки и мундштуку, через который выходила электродная проволока.

Защитные газы поступали из двух баллонов в смеситель, необходимое процентное соотношение их устанавливали регулированием давления на входе в смеситель.

Режим нанесения покрытий следующий: сила тока 205 А, напряжение 30В; расход смеси защитных газов 30 л/мин; вылет наплавляемой проволоки 13-17 мм; скорость ее подачи 194 м/ч; полярность тока – обратная. В качестве источника питания использовали выпрямитель ВС-300 с жесткой вольтамперной характеристикой. Толщина наплавленного слоя за один ход составляла 2,0-2,2 мм. После нанесения покрытия шейки валов проходили обработку резанием: точением, шлифованием и полированием. Длину детали до и после восстановления измеряли с помощью штангенциркуля ШЦ-630 с ценой деления 0,1 мм.

Распределение температуры материала как по поверхности детали, так и в ее глубине изучали на компьютере методом конечных элементов. Математическое моделирование осуществлялось с использованием T-FLEX-анализа. При этом между трехмерной моделью изделия и расчетной конечно-элементной моделью поддерживалась ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твердотельной модели автоматически переносились на сеточную конечно-элементную модель.

Результаты и обсуждение. При необезличенном ремонте двигателей их коленчатые валы до шести раз подвергаются нанесению покрытий, что установлено по контрольным меткам, оставляемым наплавщиками на щеках валов при каждом нанесении покрытия. Наплавка и напыление покрытий с использованием источников тепла уменьшают длину восстанавливаемого вала из-за неодновременного и неравномерного нагрева и охлаждения участков детали и покрытия. Это особенно заметно для наплавленных валов, по сравнению с напыленными валами ,потому что для первых характерен нагрев до большей температуры с расплавлением поверхностных слоев металла восстанавливаемых шеек. Среднее уменьшение длины, установленное по

данным измерений групп валов из 15-20 ед., показано на *рисунке 1*. В каждую группу входили валы с одинаковым числом наплавок шеек.

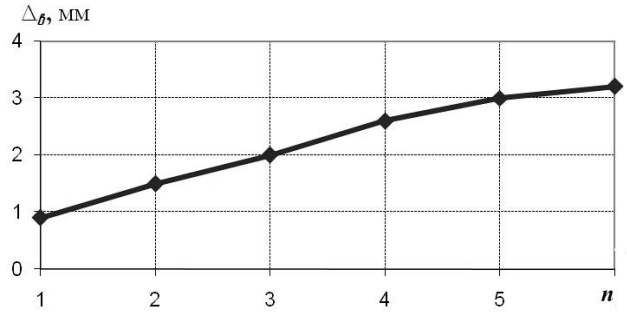


Рис. 1. Среднее уменьшение длины коленчатых валов $\Delta_в$ от числа наплавок n

Длина коленчатых валов после нескольких наплавок уменьшается до 3 мм за счет наложения друг на друга дополнительных внутренних напряжений в материале покрытия и детали. Из рисунка следует, что ограничение числа наплавок до двух в течение срока службы детали позволит избежать ее значительных деформаций.

При наплавке заготовки на поверхности ее шейки образуется валик материала с высокой температурой. При охлаждении покрытия в нем возникают растягивающие напряжения в направлении, противоположном усадке. Эти напряжения уравновешиваются сжимающими напряжениями в материале заготовки, находящемся под покрытием.

Оценивая температурное поведение изделия под действием источников тепла, использовали тепловой анализ для оценки возникающих в изделии температурных деформаций. При постановке задачи в T-FLEX-анализе задавали нестационарный процесс – расчет температурных полей осуществляли в функции времени. Вводили геометрические параметры моделируемой системы и строили конечно-элементную сетку, аппроксимирующую геометрию конструкции.

При наплавке теплота вводится в изделие через катодное пятно нагрева электрической дуги. Такой источник теплоты считается поверхностным, эффективная тепловая мощность которого в нашем случае составляла 5,53 кВт, он перемещался равномерно со скоростью 0,004 м/с относительно поверхности восстанавливаемой детали.

В неподвижной системе координат температурное поле точечного подвижного непрерывно действующего источника постоянной мощности, контактирующего с поверхностью детали с постоянной скоростью, определяется по формуле [3, 4]:

$$T(x_0, y_0, z_0, t) = T_н + \int_0^t \frac{2q}{c\rho\sqrt{[4\pi a(t-t')]^3}} \cdot \exp\left(-\frac{(x_0 - vt')^2 + y_0^2 + z_0^2}{4a(t-t')}\right) dt', \quad (1)$$

где $T(x_0, y_0, z_0, t)$ – температура материала на его поверхности в точке с координатами x_0, y_0, z_0, *К*; t – время перемещения источника теплоты, с; $T_н$ – начальная температура материала, *К*; t' – время распространения теплоты, с; v – скорость наплавки, м/с; q – эффективная тепловая мощность электрической дуги, Вт; c – удельная теплоемкость, Дж/кг·К; ρ – плотность матери-

ала, кг/м^3; $a = \lambda / c\rho$ – коэффициент температуропроводности материала, м^2/с; λ – теплопроводность материала, Вт/(м·К).

Время перемещения источника теплоты соответствовало времени наплавки одного валика $t = 40$ *с*.

Программа разбивает анализируемую конструкцию на множество конечных элементов и для каждого из них производит расчет температуры в соответствии с уравнением (1). В результате проведенных расчетов получили графическое изображение температуры материала на его поверхности при наплавке (*рис. 2*). Температура материала валика наплавки, как следует из рисунка, достигает 1400-1500 °С.

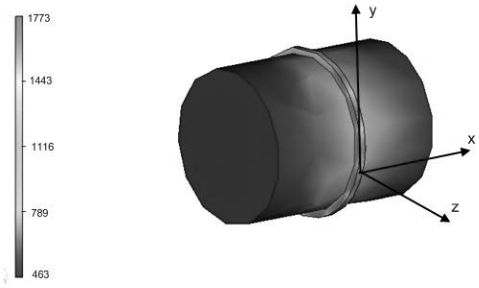


Рис. 2. Распределение температурного поля в материале заготовки при наплавке

Для расчета деформаций в материале восстанавливаемой детали и валике наплавленного металла и внутренних напряжений были приняты следующие допущения:

- наплавляемый валик металла представляет собой тороидальное кольцо, имеющее металлическую связь с материалом заготовки;
- сечение валика представляет собой эллипс с осями *a* и *b* (м);
- напряжения в поперечных сечениях наплавленного валика и основы деталей распределены равномерно;
- температура нагрева материала валика значительно выше температуры нагрева материала заготовки;
- расплавленный металл валика после нанесения кристаллизуется и охлаждается до комнатной температуры;
- взаимодействие валика с основным металлом наступило после его нанесения;
- коэффициент Пуассона μ в расчетах не учитывался.

За счет охлаждения металла валика его размеры, в том числе ширина *b* будут уменьшаться, чему препятствует участок детали диаметром ($d - a$) и длиной *b* под валиком (*рис. 3*).

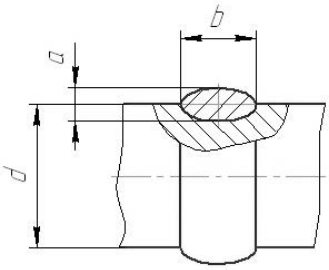


Рис. 3. Схема шейки детали с наплавленным валиком материала

Материал валика в направлении оси детали будет растянут под действием силы $P_{рс}$, а материал шейки детали под валиком сжат под действием силы $P_{сж}$ (*рис. 4*).

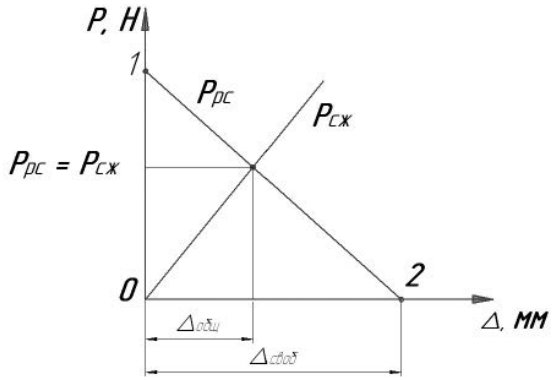


Рис. 4. Графики сил P в зависимости от деформации Δ: растягивающей покрытие $P_{рс}$; сжимающей материал детали $P_{сж}$

Деформация материала валика $\Delta_{своб}$ вдоль оси детали при охлаждении в отсутствии сопротивления со стороны материала детали равна:

$$\Delta_{своб} = b(t_н - t_к)\alpha, \text{ м}, \quad (2)$$

где $t_н$ и $t_к$ – температура нагрева материала покрытия и температура воздуха в цехе, соответственно, *К*; α – температурный коэффициент линейного расширения, 1/*К*.

При сопротивлении со стороны детали, когда длина сечения валика останется без изменения, напряжения растяжения $\sigma_{рс}$ в материале валика достигнут значения [5, 6]:

$$\sigma_{рс} = \frac{\Delta_{своб}}{b} E_п, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где $E_в$ – модуль упругости первого рода для материала покрытия, МПа.

Сила $P_{рс}$, растягивающая материал покрытия при деформации $\Delta_{своб}$, равна:

$$P_{рс} = \sigma_{рс}\left[\frac{\pi(d+a)^2}{4} - \frac{\pi(d-a)^2}{4}\right] = \sigma_{рс}\pi da, \text{ кН}. \quad (4)$$

Зависимость силы $P_{рс}$ от деформации Δ в виде уравнения прямой, проходящей через две точки 1 и 2 (*рис. 4*), находили из условия:

координаты точки 1: $[0; (t_н - t_к)\alpha E_п \pi da]$,

координаты точки 2: $[\Delta_{своб}; 0]$,

тогда уравнение прямой примет вид:

$$\frac{\Delta - 0}{\Delta_{своб} - 0} = \frac{P_{рс} - (t_н - t_к)\alpha E_п \pi da}{0 - (t_н - t_к)\alpha E_п \pi da}, \quad (5)$$

откуда:

$$P_{рс} = \frac{(t_н - t_к)\alpha E_п \pi da - \Delta E_п \pi da}{b} = \frac{E_п \pi da}{b}\left[(t_н - t_к)b\alpha - \Delta\right], \text{ кН}. \quad (6)$$

Сила $P_{сж}$, сжимающая материал детали, зависит от деформации Δ следующим образом:

$$P_{сж} = \frac{\Delta}{b} E_д \frac{\pi(d-a)^2}{4}, \text{ кН}, \quad (7)$$

где $E_д$ – модуль упругости первого рода для материала детали, МПа.

Равновесие фрагмента детали имеет место при:

$$P_{рс} = P_{сж} \text{ и } \Delta = \Delta_{общ}, \quad (8)$$

откуда:

$$\frac{E_п \pi da}{b}\left[(t_н - t_к) b\alpha - \Delta_{общ}\right] = \frac{\Delta_{общ}}{b} E_д \frac{\pi(d-a)^2}{4}. \quad (9)$$

Решая уравнение относительно $\Delta_{общ}$, получаем значение деформации шейки вала в пределах ширины наплавленного валика металла:

$$\Delta_{общ} = \frac{E_п da(t_н \quad t_к) b\alpha}{E_п da + \frac{E_д (d \quad a)^2}{4}}, \text{ м} \quad (10)$$

Деформация шейки вала в пределах длины валика при наплавке проволоки *Св*-08Х13 Δ = 0,01151 мм меньше, чем при наплавке проволоки У7 Δ = =0,01365 мм. Как показывает полученная зависимость, определяющее влияние на деформацию, а, следовательно, на остаточные напряжения оказывает температура нагрева материала покрытия и температурный коэффициент линейного расширения. Меньшее влияние оказывает соотношение значений модуля упругости первого рода материалов покрытия и заготовки. Поэтому при выборе наплавочного материала следует отдавать предпочтение материалу с более низким значением температурного коэффициента линейного расширения, а нанесение покрытий вести с минимально возможной температурой. Расчеты показывают, что при наплавке десяти шеек вала уменьшение его длины составляет 0,6-0,8 мм, что соответствует данным инструментальных измерений.

Значение модуля упругости первого рода материала наплавленного металла значительно меньше соответствующего показателя для исходного металла по причине наличия пор и несплошностей в покрытии. Имея деформации элементов детали и покрытия, их размеры и модули упругости, растягивающие напряжения в покрытии вдоль оси детали составляют значение:

$$\sigma_{рс} = \frac{\Delta}{b} E_п = \frac{0{,}01151}{8} \cdot 1{,}5 \cdot 10^5 = 215{,}8, \text{МПа},$$

что соответствует силе, растягивающей покрытие в 0,141МН, которую уравновешивает сила сжатия материала детали, обусловленная напряжениями сжатия:

$$\sigma_{сж} = \sigma_{рс} \frac{4da}{(d-a)^2} = 215{,}8 \frac{4 \cdot 0{,}052 \cdot 0{,}004}{(0{,}052 - 0{,}004)^2} = 77{,}9, \text{МПа}.$$

Напряжения сжатия в материале детали в 2,8 раза меньше напряжений растяжения в материале покрытия. Значения растягивающих напряжений в материале покрытия близки к пределу его прочности, поэтому при неблагоприятном течении процесса в покрытии образуются микротрещины, снижающие усталостную прочность детали [7-10]. Уменьшение толщины покрытия существенно снижает вероятность появления таких трещин.

Выводы. Описан механизм осевого деформирования наплавленного ко-

ленчатого вала, учитывающий тепловые процессы, происходящие при наплавке, и устанавливающий влияние модуля упругости, температуры нагрева и термического коэффициента линейного расширения материалов восстанавливаемого изделия и покрытия, размеры наносимого валика материала на напряжения в покрытии и основном материале. Наибольшее влияние на деформацию, а, следовательно, на указанные напряжения оказывает температура нагрева материала покрытия и температурный коэффициент линейного расширения материалов покрытия и заготовки. Меньшее влияние оказывает соотношение значений модуля упругости первого рода материалов покрытия и заготовки. Предложенные зависимости позволяют определить уменьшение длины вала при наплавке. Число наплавок шеек валов полезно сократить до двух в течение всего срока их службы.

Библиографический список

1. Иванов В.П., Вигерина Т.В. Восстановление коленчатых валов автомобильных двигателей. Palmarium Academic Publishing. 2019. 210 с.

2. Денисов А.С., Погораздов В.В., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю. Технологическое обеспечение качества восстановленных коленчатых валов дизельных двигателей // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 4. N1(49). С. 49-55.

3. Коновалов А.В., Неровный В.М., Куркин А.С. Теория сварочных процессов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 752 с.

4. Степин П.А. Сопротивление материалов. СПб.: Лань. 2012. 320 с.

5. Волков И.А., Коротких Ю.Г., Тарасов И.С., Шишулин Д.Н. Численное моделирование упругопластического деформирования и накопления повреждений в металлах при малоцикловой усталости // Проблемы прочности. 2011. N4. С. 147-165.

6. Махалов М.С., Блюменштейн В.Ю. Механика процесса ППД. Остаточные напряжения в упрочняемом упругопластическом теле // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21. N2. С. 110-123.

7. Андрущенко М.И. Разработка технологии восстановления и упрочнения коленчатого вала коленорычажных прессов. Часть 1. Анализ условий труда, характеристика // Проблемы трибологии. 2017. N4. С. 33-38.

8. Yanagisawa Y., Kishi Y., Sasakib K. Analysis of Residual Stresses during Heat Treatment of Large Forged Shafts Considering Transformation Plasticity and Creep Deformation // Проблемы прочности. 2017. N2. С. 36-48.

9. Антонов А.А. Исследование полей остаточных напряжений в сварных конструкциях // Территория нефтегаз. 2014. Т. 28. N12. С. 966-969.

10. Настека В.В., Коренякин А.Ф., Низамов Н.Ф., Чирков Е.Ю., Кушнаренко В.М., Каменев С.В. Напряженно-деформированное состояние металла корпусов фонтанной арматуры до и после наплавки // Вестник Оренбургского государственного университета. Машиностроение. 2013. N1. С. 212-217.

References

1. Ivanov V.P., Vigerina T.V. Vosstanovleniye kolenchatykh valov avtomobil'nykh dvigateley [Restoration of crankshafts of automobile engines]. Palmarium Academic Publishing. 2019. 210 (In Russian).

2. Denisov A.S., Pogorazdov V.V., Tugushev B.F., Gorshenina E.Yu. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva vosstanovlennykh kolenchatykh valov dizel'nykh dvigateley [Technological quality assurance of restored crankshafts of diesel engines]. Vestnik

Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. Vol. 4. N1(49). 49-55 (In Russian).

3. Konovalov A.V., Nerovnyy V.M., Kurkin A.S. Teoriya svarochnykh protsessov [Theory of welding processes]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 2007. 752(In Russian).

4. Stepin P.A. Soprotivleniye materialov [Strength of materials]. Saint Petersburg.: Lan'. 2012. 320(In Russian).

5. Volkov I.A., Korotkikh Yu.G., Tarasov I.S., Shishchlin D.N. Chislennoye modelirovaniye uprugoplasticheskogo deformirovaniya i nakopleniya povrezhdeniy v metallakh pri malotsiklovoy ustalosti [Numerical simulation of elastic-plastic deformation and damage accumulation in metals at low-cycle fatigue]. Problemy prochnosti. 2011. N4. 147-165(In Russian).

6. Makhalov M.S., Blyumenshteyn V.Yu. Mekhanika protsessa PPD. Ostatochnyye napryazheniya v uprochnyayemom uprugoplasticheskom tele [The mechanics of the PPD process. Residual stresses in the reinforced elastic-plastic body]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty). 2019. Vol. 21. N2. 110-123 (In Russian).

7. Andrushchenko M.I. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya kolenchatogo vala kolenorychazhnykh pressov. Chast' 1. Analiz usloviy truda, kharakteristika [Development of technology for recovery and strengthening of the crankshaft of crank presses. Part 1. Analysis of working conditions, characteristics]. Problemy tribologii. 2017. N4. 33-38 (In Russian).

8. Yanagisawa Y., Kishi Y., Sasakib K. Analysis of Residual Stresses during Heat Treatment of Large Forged Shafts Considering Transformation Plasticity and Creep Deformation. Problemy prochnosti. 2017. N2. C. 36-48.

9. Antonov A.A. Issledovaniye poley ostatochnykh napryazheniy v svarnykh konstruktsiyakh [Studying of residual stress fields in welded structures]. Territoriya neftegaz. 2014. Vol. 28. N12. 966-969(In Russian).

10. Nasteka V.V., Korenyakin A.F., Nizamov N.F., Chirkov E.YU., Kushnarenko V.M., Kamenev S.V. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye metalla korpusov fontannoy armatury do i posle naplavki [Stress-strain state of the metal bodies of fountain valves before and after surfacing]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Mashinostroyeniye. 2013. N1. 212-217(In Russian).

УДК 631.3

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ БАНДАЖИРОВАНИЕМ

Феликс Яковлевич Рудик[1], доктор технических наук профессор;
Сергей Аркадьевич Богатырев[1], доктор технических наук, профессор, e-mail: tettet@inbox.ru;
Лялякин Валентин Павлович[2], доктор технических наук, профессор, главный специалист
[1]Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация;
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Важнейшей задачей современного сельскохозяйственного производства становится рациональное использование имеющихся материальных ресурсов. Из-за низкой сменности парка машин происходит старение ресурсоопределяющих элементов техники, сопровождающееся снижением показателей их долговечности до критического уровня. (Цель исследования) Снизить энергозатраты и повысить эффективность процесса восстановления металлоемких корпусных деталей бандажированием. (Материалы и методы) Отметили, что надежность машины в значительной мере определяется работоспособностью деталей трансмиссии, в частности, тяжело нагруженных корпусных деталей задних мостов: рукавов полуосей колесного трактора и кожухов дифференциала грузового автомобиля, процент выбраковки которых при капитальном ремонте составляет более 60 процентов. Определили, что существующие технологии восстановления подобных металлоемких деталей не обеспечивают необходимый уровень долговечности и потребность ремонтных предприятий в запчастях. (Результаты и обсуждение) Предложили оригинальное решение комплекса вопросов по созданию эффективного способа восстановления корпусных деталей, имеющих дефекты в районе посадочных мест под подшипники. Показали, что для повышения запаса прочности и равномерного распределения напряжений по сечению посадочного места под подшипник необходимо использовать способ многослойного ленточного бандажирования. (Выводы) Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что на поверхность восстанавливаемой детали целесообразно наносить не более 3-4 слоев бандажной стальной ленты. Способ восстановления деталей многослойным бандажированием, разработанный в Саратовском государственном аграрном университете, имеет высокий коэффициент использования ремонтных материалов, обеспечивает устранение дефектов посадочных мест корпусных деталей и способствует повышению запаса их прочности.*

Ключевые слова: *корпусная деталь, ведущий мост, колесный трактор, восстановление, бандажирование, долговечность, ресурс.*

Для цитирования: *Рудик Ф.Я., Богатырев С.А., Лялякин В.П. Повышение ресурса корпусных деталей бандажированием // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 136-143.*

INCREASING THE LIFE OF BODY PARTS BY BANDING

Feliks Ya. Rudik[1], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Sergey A. Bogatyrev[1], Dr.Sc.(Eng.), professor;
Valentin P. Lyalyakin[2], Dr.Sc.(Eng.), professor, chief specialist
[1]Saratov state agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The most important task of modern agricultural production is the rational use of available material resources. Due to the low renewal of the machines fleet, there occurs aging of resource-determining elements of machines, accompanied by a decrease in their durability to a critical level. (Research purpose) The research purpose is to reduce energy consumption and improve the efficiency of the recovery process of metal-intensive body parts banding. (Materials and methods) The article notes that the reliability of the machine is largely determined by the efficiency of the transmission components, in particular, heavily loaded housing parts of rear axles: axle sleeves of wheeled tractor and covers of differential of truck, the percentage of rejection of which during repair is over 60 percent. It was found that the existing technologies for the restoration of such metal-intensive parts do not provide the necessary level of durability and the need for repair companies in spare parts. (Results and discussion) The article proposes an original solution to the complex of issues in creation an effective way of restoring the body parts that have defects in the area of bearing seats. It was shown that in order to increase the reserve of strength and uniform distribution of stresses across the cross-section of the bearing seat, it is necessary to use the method of multilayer tape banding. (Conclusion) It is theoretically proved and experimentally confirmed that it is advisable to apply no more than 3-4 layers of bandage steel tape to the surface of the restored part. The method of restoring parts with multilayer banding, developed in the Saratov state agrarian University, has a high coefficient of use of repair materials, ensures the elimination of defects in the seats of body parts and increases their strength.*

Keywords: *body part, driving axle, wheeled tractor, renewal, banding, longevity, resource.*

For citation: *Rudik F.Ya., Bogatyrev S.A., Lyalyakin V.P. Povysheniye resursa korpusnykh detaley bandazhirovaniyem [Investigation of the surface layer of electric spark coating]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 136-143 (In Russian).*

Введение. Особое место в решении задачи увеличения валового сбора и уменьшения потерь сельскохозяйственной продукции отводится колесным тракторам и грузовым автомобилям. Однако из-за низкой сменности парка этих машин происходит обвальное старение ресурсоопределяющих деталей, сопровождающееся снижением до критического уровня показателей их долговечности. Известно, что надежность машины в значительной мере определяется работоспособностью деталей трансмиссии, в частности, тяжело нагруженных корпусных деталей задних мостов: рукавов полуосей колесного трактора и кожухов дифференциала грузового автомобиля, процент выбраковки которых при капитальном ремонте составляет более 60%. Существующие технологии восстановления подобных металлоемких деталей не обеспечивают необходимый уровень долговечности и потребность

ремонтных предприятий в запчастях. В связи с этим актуальным становится решение комплекса вопросов по созданию эффективного способа восстановления корпусных деталей, имеющих дефекты в районе посадочных мест под подшипники.

Ни один из известных способов не обеспечивает комплексного устранения дефектов у деталей типа рукав полуоси или кожух дифференциала ведущих мостов тракторов и автомобилей с одновременным повышением запаса их прочности. Так, приваркой металлических заплат, вырезанных из малоуглеродистой стали, обеспечивают лишь исходный уровень прочности. А использование в качестве бандажа стаканной втулки с утолщенной стенкой не гарантирует должную прочность сцепления с основной деталью, работающей в условиях динамических нагрузок [1]. Данное обстоятельство вызвало необходимость разработки более совершенной технологии восстановления корпусных деталей, отличающейся простотой реализации и обладающей высокими показателями ресурсосбережения и доступной стоимостью ремонта [2, 3].

Этим требованиям отвечает способ восстановления деталей многослойным бандажированием, разработанный в Саратовском государственном аграрном университете имени Н.И. Вавилова. Он обеспечивает не только устранение дефектов посадочных мест корпусных деталей, но и способствует повышению запаса их прочности и долговечности [4].

Цель исследования – снизить энергозатраты и повысить эффективность процесса восстановления металлоемких корпусных деталей бандажированием.

Материалы и методы. Методика анализа конструктивных особенностей и дефектов корпусных деталей ведущих мостов базируется на результатах анализа износного состояния ремонтного фонда. При моделировании напряженного состояния рукавов полуоси и кожухов дифференциала использовали элементы методики компенсации действующих напряжений, основанной на подборе численных значений допускаемых напряжений с необходимым запасом прочности [5-7]. Многофакторный эксперимент и регрессионный анализ полученных данных позволили упростить методику определения оптимальных режимов восстановления [8]. Испытания деталей на прочность проводили при статическом нагружении с плавно возрастающей нагрузкой.

Результаты и обсуждение. Объектами восстановления стали рукава полуосей задних мостов трактора МТЗ-80 и кожуха дифференциала автомобиля КамАЗ-5320. До настоящего времени рукава полуосей (*рис. 1*) и кожухи дифференциала (*рис. 2*), имеющие дефекты в месте установки подшипников качения, подвергали утилизации при капитальном ремонте, т.к. ни один из известных способов восстановления не позволял обеспечить ресурс завода-изготовителя.

Поскольку областью практического применения данных деталей служат ресурсоопределяющие элементы тракторов и автомобилей – ведущие мосты, к их состоянию предъявляют повышенные требования, особенно жесткие к сохранению их работоспособности. К технологиям, обеспечивающим дополнительный запас прочности, являющимся малоотходными и не требующим для осуществления сложного технологического оборудования, относятся способы восстановления, предусматривающие установку дополнительной ремонтной детали. Одним из разновидностей стал способ много-

слойного бандажирования. Применение стальной ленты в качестве материала для изготовления бандажа посадочных мест под подшипники позволит сократить потери металла в стружку и расход наплавочных материалов.

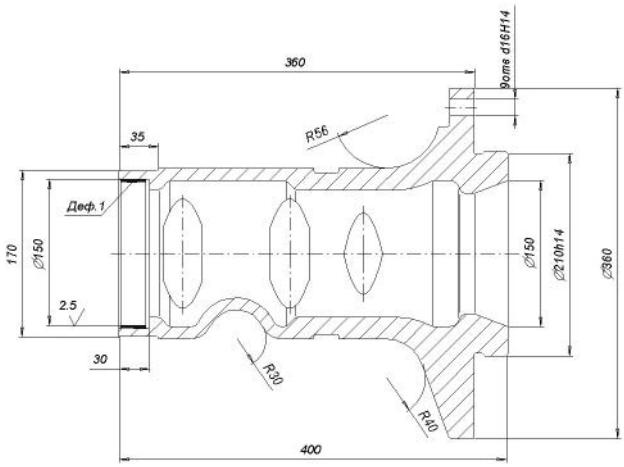


Рис. 1. Рукав полуоси ведущего моста трактора МТЗ-80

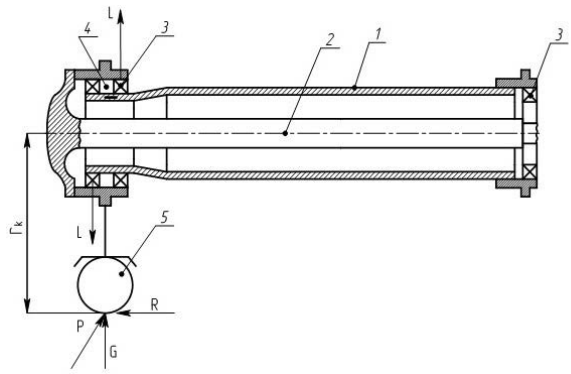


Рис. 2. Кожух дифференциала (поз. 1) в заднем мосту автомобиля КамАЗ-5320

Рукава полуосей, относящиеся к классу корпусных деталей, – ответственные детали заднего моста колесного трактора, от их прочности и жесткости зависит его надежность и безопасность эксплуатации. Детали конструктивно закреплены на корпусе заднего моста и являются частью остова ходовой части трактора.

Рукава полуосей изготовлены из серого чугуна СЧ 25 ГОСТ 1452-85, имеют сложную конфигурацию и сравнительно тонкие стенки. В стенках деталей трещины возникают в результате воздействия деформирующих нагрузок при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке грузов.

Ведущий мост автомобиля КамАЗ-5320 имеет конструкцию так называемых разгруженных полуосей. В этих конструкциях кожух дифференциала (*рис. 2, поз. 1*) устанавливают на подшипники. Кожух дифференциала вращается в конических роликовых подшипниках, закрепленных в картере главной передачи. Это обеспечивает необходимую жесткость и предотвращает деформации, ускоряющие износ зацепления. При такой компоновке все силы и моменты, возникающие во время движения, воспринимаются подшип-

никами колеса и передаются на корпусную деталь заднего моста, не действуя на полуось.

В местах нахождения опорных подшипников при движении вперед автомобиля КамАЗ в режиме спокойной езды в груженом состоянии в районах установки колес и в месте крепления кожуха к картеру главной передачи расчетные значения результирующих моментов составили: $M_{\text{рез.колес вп}}$ = =16439 Н·м, $M_{\text{рез.картер вп}}$ = 10819,5 Н·м. Напряжения в сечении в месте установки подшипников колес равны $\sigma_{\text{колес вп}}$ = 460 МПа.

При преодолении препятствий величины расчетных результирующих моментов в «опасных» сечениях кожуха дифференциала составили: $M_{\text{рез.колес пр}}$ = = 17855,4 Н·м, $M_{\text{рез.картер пр}}$ = 10096,1 Н·м. Максимальное напряжение в сечении в месте установки подшипниковых колес достигнет $\sigma_{\text{колес пр}}$ = 500 МПа.

При торможении величины результирующих моментов составляют: $M_{\text{рез.}}$ колес тор = 5133,1 Н·м, $M_{\text{рез.картер тор}}$ = 2794,6 Н·м. Напряжение составит: $\sigma_{\text{тор}}$ = 144 МПа.

При повороте или боковом скольжении на кожух дифференциала дополнительно воздействуют внешний изгибающий момент $M_{\text{внеш}}$ = 2065,9 Н·м и напряжение $\sigma_{\text{внеш}}$ = 58 МПа. После проведения проверочных расчетов на прочность балки ведущего моста выяснили, что самыми нагруженными сечениями оказываются места установки подшипников в рукаве полуоси трактора и кожухе дифференциала автомобиля.

Величины результирующих напряжений в опасном сечении близки к предельному значению прочности чугуна и составляют с учетом циклических нагрузок от 180 до 250 МПа для рукава полуоси и 460-500 МПа для стального кожуха дифференциала, являясь причиной появления торцевых трещин [9]. Поскольку нагрузки при езде по бездорожью с преодолением препятствий носят циклический характер, то для деталей, ставших объектами исследований, необходимо обеспечить трехкратный запас прочности. Для создания такого запаса прочности и увеличения ресурса рукава полуоси кожухи дифференциала тоже требуют упрочнения в процессе восстановления или модернизации конструкции путем увеличения толщины стенки с 8 до 16 мм.

Для укрепления посадочных мест под подшипники предложили использовать многослойный ленточный бандаж, хорошо зарекомендовавший себя в производстве прессового оборудования и станкостроении. В связи с этим возникла необходимость в проведении анализа напряженного состояния участков деталей с нанесенным ленточным бандажом с целью проверки обеспечения рекомендуемого уровня прочности и жесткости измененной конструкции корпусных деталей [10].

Для повышения запаса прочности и более равномерного распределения напряжений по сечению детали использовали способ многослойного ленточного бандажирования (*рис.* 3).

Бандажирование осуществляют намоткой с натягом в несколько витков стальной ленты с расчетной длиной и размерами поперечного сечения на наружную поверхность с фиксацией бандажных колец между собой точечной сваркой. Целесообразно на поверхность восстанавливаемой детали наносить не более 3-4 слоев бандажной стальной ленты.

Второй вариант усиления посадочного места под подшипник корпусной детали заключается в установке бандажного кольца с фигурным отверстием на наружной поверхности восстанавливаемой детали, при этом создает-

ся дополнительный запас прочности из-за увеличения инерции сопротивления бандажного сечения с одновременной заделкой продольных усталостных микротрещин.

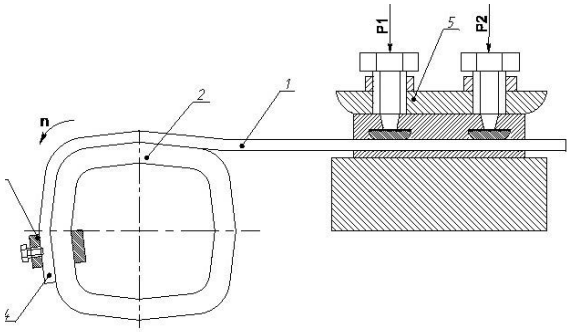


Рис. 3. Схема многослойного ленточного бандажирования:
1 – бандажная лента; 2 – восстанавливаемая деталь; 3 – струбцина;
4 – кончик ленты для точечной сварки; 5 – суппорт

Применение альтернативного цельному кольцу ленточного бандажа технологически упрощает изготовление, способствует резкому уменьшению расхода металла, обеспечивает большую безопасность при работе, поскольку не может разрушиться мгновенно, снижает габариты, обеспечивая при этом заданный запас прочности.

Применение многослойного ленточного бандажа с оптимальным натягом между витками позволило уменьшить габариты бандажного кольца по сравнению с монолитной втулкой без ущерба его прочностным характеристикам. Выбор формы, геометрических параметров и конструкционного исполнения из предлагаемых в работе вариантов определяется возможностями и уровнем развития ремонтного производства на предприятии.

При прогнозировании остаточного ресурса, основанного на статистических данных замеров внутреннего и наружного диаметров посадочных поясков под подшипники, у рукава полуоси и кожуха дифференциала до и после сравнительных ресурсных испытаний, определены численные значения износов, средних скоростей изнашивания и ресурсов данных деталей. За период проведения испытаний в работе трактора и автомобиля отказов и поломок восстановленных деталей не наблюдалось.

Выводы. Осмотр технического состояния ведущего моста колесного трактора показал, что износостойкость и ресурс рукава полуоси, восстановленного бандажированием, выше, чем у нового серийно изготовленного и составляет 2647 моточасов или 53% межремонтного ресурса машины. Эксплуатационными испытаниями трактора МТЗ-80 установлено, что применение разработанной технологии восстановления позволит продлить ресурс ходовой части в 3 раза. Это подтверждает положения о возможности повторного использования изношенных металлоемких деталей данного наименования путем их восстановления и упрочнения бандажированием.

Согласно данным, полученным аналогичным методом при эксплуатационных испытаниях автомобилей, благодаря установке бандажного кольца в наиболее нагруженном месте ресурс кожуха дифференциала на 25% продлевает срок службы данной корпусной детали. Ресурс упрочненных кожухов дифференциала максимально приближен к ресурсу автомобиля, т. е. их

необходимо будет менять один раз за время эксплуатации автомобиля при его постановке на капитальный ремонт. Это подтверждает предположение о том, что исследуемые детали относятся к разряду ресурсоопределяющих и их необходимо повторно использовать путем восстановления.

Восстановленные рукава полуоси трактора необходимо заменять не чаще одного раза до постановки трактора на капитальный ремонт, в то время как ресурс серийно изготовленных аналогичных деталей составлял всего 15% от ресурса ходовой части машины. Повышение качества восстановления подтверждается трехкратным его увеличением.

Использование бандажирования применительно к корпусным литым и штампованным деталям не только сохранит показатели износостойкости и долговечности на уровне новых, но и повысит отдельные механические свойства восстановленных деталей.

Библиографический список

1. Богатырев С.А., Шестаков А.О. Кольцо повышает прочность // Сельский механизатор. 2004. N2. С. 11.

2. Gutowski T., Murphy C., Allen D., Bauer D., Bras B., Piwonka T., Sheng P., Sutherland J., Thurston D., Wolff E. Environmentally benign manufacturing: Observations from Japan, Europe and the United States. Journal of Cleaner Production. 2017. N13. 1-17.

3. 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. 160 с.

4. Богатырев С.А., Рудик Ф.Я., Морозов А.А. Инновационные ресурсосберегающие технологии восстановления работоспособности корпусных деталей. Саратов: Издательский центр «Наука». 2015. 160 с.

5. Богатырев С.А. Анализ предельных возможностей осадки длинномерных трубчатых цилиндрических деталей в штампе с подвижными полуматрицами // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. N6. С. 18-22.

6. Богатырев С.А. Анализ стадий кинематики перемещений металла в процессе объемной горячей осадки полых трубчатых деталей в закрытом штампе // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2018. N7. С. 11-16.

7. Богатырев С.А. Анализ напряженно-деформированного состояния и определение энергосиловых характеристик процесса горячей осадки толстостенных втулок // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2019. N5. С. 15-19.

8. Богатырев С.А. Проблема ресурсосбережения при восстановлении деталей // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2001. N1. С. 56-57.

9. Богатырев С.А. Определение односторонних сборочных натягов в многослойном бандаже // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Международного научно-технического семинара. Вып. 25. Саратов: Саратовский ГАУ. 2012. С. 24-25.

10. Богатырев С.А., Сафонов В.В., Элькин С.Ю. Результаты исследований напряженного состояния рукава полуоси колесного трактора // Научное обозрение. 2014. N6. С. 17-28.

References

1. Bogatyrev S.A., Shestakov A.O. Kol'tso povyshayet prochnost' [The ring increases the strength]. Sel'skiy mekhanizator. 2004. N2. 11 (In Russian).

2. Gutowski T., Murphy C., Allen D., Bauer D., Bras B., Piwonka T., Sheng P., Sutherland J., Thurston D., Wolff E. Environmentally benign manufacturing: Observations from Japan, Europe and the United States. Journal of Cleaner Production. 2017. N13. 1-17.

3. Solov'yev S.A. Lyalyakin V.P., Goryachev S.A., Mishina Z.N., Gerasimov V.S., Solov'yev R.Yu., CHernoivanov V.I., Golubev I.G. Innovatsionnyye napravleniya razvitiya remontno-ekspluatatsionnoy bazy dlya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Innovative directions of development of repair and operational base for agricultural machinery]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2014. 160 (In Russian).

4. Bogatyrev S.A., Rudik F.Ya., Morozov A.A. Innovatsionnyye resursosberegayushchiye tekhnologii vosstanovleniya rabotosposobnosti korpusnykh detaley [Innovative resource-saving technologies for restoring the operability of body parts]. Saratov: Izdatel'skiy tsentr «Nauka». 2015. 160 (In Russian).

5. Bogatyrev S.A. Analiz predel'nykh vozmozhnostey osadki dlinnomernykh trubchatykh tsilindricheskikh detaley v shtampe s podvizhnymi polumatritsami [Analysis of the limiting possibilities of precipitation of long tubular cylindrical parts in a die with movable half-matrices]. Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem. 2017. N6. 18-22 (In Russian).

6. Bogatyrev S.A. Analiz stadiy kinematiki peremeshcheniy metalla v protsesse ob"yemnoy goryachey osadki polykh trubchatykh detaley v zakrytom shtampe [Analysis of the stages of kinematics of metal movements in the process of volumetric hot precipitation of hollow tubular parts in a closed die]. Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem. 2018. N7. 11-16 (In Russian).

7. Bogatyrev S.A. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i opredeleniye energosilovykh kharakteristik protsessa goryachey osadki tolstostennykh vtulok [Analysis of the stress-strain state and determination of energy-power characteristics of the process of hot precipitation of thick-walled bushings]. Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniyem. 2019. N5. 15-19 (In Russian).

8. Bogatyrev S.A. Problema resursosberezheniya pri vosstanovlenii detaley [The problem of resource saving when restoring parts]. Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. 2001. N1. 56-57 (In Russian).

9. Bogatyrev S.A. Opredeleniye odnostoronnikh sborochnykh natyagov v mnogosloynom bandazhe [Determination of one-sided assembly tension in a multilayer bandage]. Problemy ekonomichnosti i ekspluatatsii avtotraktornoy tekhniki: materialy Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara. Iss. 25. Saratov: Saratovskiy GAU. 2012. 24-25 (In Russian).

10. Bogatyrev S.A., Safonov V.V., El'kin S.Yu. Rezul'taty issledovaniy napryazhennogo sostoyaniya rukava poluosi kolesnogo traktora [The results of studies of the stress state of the sleeve axle of wheel tractor]. Nauchnoye obozreniye. 2014. N6. 17-28 (In Russian).

УДК 631.12:546.62

МЕТОДЫ ДЕЗАГРЕГАЦИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОРОШКОВ

Анатолий Валентинович Федотов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: fedotov48@list.ru; Федеративный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Одним из эффективных направлений инновационного развития в агропромышленном комплексе стало использование нанотехнологий и наноматериалов. По сравнению с порошками микронного размера нанопорошки обладают большей адгезионной и аутогезионной активностью, что повышает склонность к агрегированию и уменьшает их ценные качества. (Цель исследования) Оценить эффективность различных физико-химических методов дезагрегации наноструктурных порошков и сохранение дезагрегированного состояния при их применении. (Материалы и методы) Взяли в качестве объекта исследования наноструктурные оксигидроксид алюминия (бемит), полученный гидротермальным синтезом и методом переосаждения, и оксид алюминия. Исследовали влияние ультразвука, импульсного энергетического воздействия, помола в шаровой и ножевой мельницах, сушки паром в комбинации с сушкой методом сброса давления, механохимической активации на эффективность дезагрегации порошка бемита. (Результаты и обсуждение) Показали, что эффективными методами дезагрегации суспензии бемита и увеличения удельной поверхности в 2,5 раза оказались методы сушки перегретым паром, совмещенные с методом сброса давления, импульсное энергетическое воздействие и механохимическая активация. Определили, что нагревание порошков бемита, приводит к получению безводных дезагрегированных форм оксида алюминия. Выявили, что введение дезагрегированного порошка бемита в алюмоматричные композиты снижает температуру спекания, повышает трещиностойкость на 36-38 процентов. Установили, что в триботехнике введение бемита до 2-х раз сокращает время приработки, коэффициент трения и износ. (Выводы) Эффективными методами дезагрегации суспензии исходного порошка бемита в воде служат импульсное энергетическое воздействие и механохимическая обработка. Способ сушки суспензии перегретым водяным паром в комбинации с сушкой путем сброса давления позволяют получить сухой дезагрегированный порошок бемита. Термическая обработка бемита приводит к получению дезагрегированного порошка оксида алюминия. Сохранение дезагрегированного состояния возможно путем применения поверхностно-активных веществ или создания матричных композиций.*

Ключевые слова: *агрегация, наноструктурные порошки, оксигидроксид и оксид алюминия, сушка, композиция.*

Для цитирования: *Федотов А.В. Методы дезагрегации наноструктурных порошков // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 144-151.*

METHODS OF DISAGREGATION OF NANOSTRUCTURAL POWDERS

Anatoliy V. Fedotov, Ph.D. (Eng), leading researcher
Federal Scientific Agroengineering Center WIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *One of the effective directions of innovative development in the agricultural sector is the use of nanotechnology and nanomaterials. Compared to micron-sized powders, nano-sized powders have greater adhesive and autogesion activity, which increases the tendency to aggregation and reduces their valuable qualities. (Research purpose) The research purpose is evaluation of the effectiveness of various physicochemical methods for the disaggregation of nanostructured powders and the preservation of a disaggregated state when applying. (Materials and methods) Nanostructured aluminum hydroxide (boehmite), obtained by hydrothermal synthesis and the method of re-precipitation, and aluminum oxide were taken as the object of study. The article presents the results of the study on influence of ultrasound, pulsed energy, grinding in ball and knife mills, steam drying in combination with pressure relief drying, mechanochemical activation on the efficiency of disaggregation of boehmite powder. (Results and discussion) It has been shown that effective methods of disaggregating boehmite suspension and increasing the specific surface area by 2.5 times are the methods of drying with superheated steam combined with the method of pressure relief, pulsed energy and mechanochemical activation. Heating boehmite powders results in anhydrous disaggregated forms of alumina. The introduction of disaggregated boehmite powder in aluminomatrix composites reduces the sintering temperature and increases crack resistance by 36-38%. In tribotechnology, the introduction of boehmite reduces the running-in time up to 2 times, friction coefficient and wear. (Summary) Effective methods for disaggregating a suspension of the initial boehmite powder in water are pulsed energy and mechanochemical treatment. The method of drying the suspension with superheated steam in combination with drying by pressure relief allows to obtain a dry disaggregated boehmite powder. Heat treatment of boehmite results in a disaggregated alumina powder. Preservation of a disaggregated state is possible by applying a surfactant or creating matrix compositions.*

Keywords: *aggregation, nanostructured powders, oxyhydroxide and alumina, drying, composition.*

For citation: *Fedotov A.V. Metody dezagregatsii nanostrukturnykh poroshkov [Methods of disagregation of nanostructural powders]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 144-151(In Russian).*

Введение. Одним из перспективных направлений инновационного развития в АПК стало применение нанотехнологий и наноматериалов [1-3]. Нанотехнологии применяются при техническом сервисе машин и создании новой сельскохозяйственной техники. Исследования показали, что у наноструктурных покрытий и композиций происходит резкое улучшение физических свойств, что проявляется в повышении твердости и износостойкости деталей в несколько раз, снижении коэффициента трения, коррозионных потерь. Обеспечение высокого уровня свойств зависит от образования структур с равномерно распределенными нанокомпонентами и уменьшения

агрегирования нанопорошков, которое создает проблемы при консолидации наночастиц и создании композиций и является общим недостатком наночастиц. В результате могут нивелироваться ценные качества наноструктурного состояния материала для многих его применений. Образующаяся агрегатная структура крайне неоднородна и практически не поддается дезагрегации с помощью известных методов измельчения и прессования [4, 5]. Как только наночастицы агрегируются, образующиеся прочные агрегаты не позволяют использовать преимущество наноструктурного состояния материала в различных физико-химических процессах.

Цель исследования – оценить эффективность различных физико-химических методов дезагрегации и сохранение дезагрегированного состояния при их применении. Полученные закономерности будут полезны при разработке технологических решений дезагрегации порошков других типов.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования в настоящей работе выбрали наноструктурные порошки оксигидроксида алюминия (бемит) и оксида алюминия, которые являются перспективными материалами для многих областей агросервиса [6, 7]. В работе использовали нанопорошки бемита, полученные гидротермальным синтезом и методом переосаждения по нитратному и алюминатному способам.

Бемит гидротермального синтеза (бемит ГТС) получен путем окисления в водной среде микронных порошков алюминия во влажном насыщенном паре в до- и околокритической области при температуре 330 °С и давлении 15 МПа. Его отличительной особенностью стала фазовая и химическая чистота, высокая степень однородности, стабильность состава и структуры разных партий. Промышленные порошки, полученные методом переосаждения на разных предприятиях, в отличии от бемита ГТС, не обладают фазовой и химической чистотой и дополнительно могут содержать неконтролируемое количество примесей байерита, гиббсита, дойлита и других фаз. Помимо этого порошки содержат не полностью закристаллизованный бемит, как бемит ГТС, а псевдобемит, содержащий неконтролируемое количество воды (сверх стехиометрических 15%). Помимо структурной воды промышленные порошки обычно содержат значительное количество свободной воды (до 70%). По данным рентгеноструктурного анализа размер кристаллов исходных порошков не превышает 100 нм и по этому параметру все порошки являются наноструктурными. Удельная поверхность порошка бемита ГТС составила 70-90 м^2/г и 210-280 м^2/г соответственно для порошков, полученных методом переосаждения.

Обзор известных методов измельчения позволил выбрать для дезагрегации бемита ультразвуковое и импульсное энергетические воздействия, помол в шаровой и ножевой мельницах, сушку паром в комбинации с сушкой методом сброса давления, механохимическую активацию. Методы опробовали на суспензии порошка бемита ГТС [8]. Обработку ультразвуком проводили в ультразвуковой ванне ПСБ-ГАЛС. Импульсное энергетическое воздействие – в блоке измельчения, изготовленном на основе роторно-пульсационного аппарата (РПА) «АКВАВИТ», характерными конструктивными особенностями которого стало наличие нескольких последовательных роторов и статоров.

Организованный конструктивным способом поток генерирует импульсы повышенного и пониженного давления, образует кавитацию, которая служит сильным интенсифицирующим фактором процессов диспергирова-

ния, эмульгирования, массопереноса. Совместно с кавитацией на обрабатываемую среду оказывают воздействие такие факторы, как турбулентность, сдвиговые напряжения, колебания давления, скорости, ускорения. Сушку суспензии проводили в специально разработанном блоке сушки, совмещенном с реактором ГТС.

Размер кристаллов бемита определяли на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 по величине области когерентного рассеивания (ОКР) из данных по изменению формы профиля дифракционного отражения. Морфологические особенности отдельных частиц и агрегатов изучали на сканирующем электронном микроскопе *TESCAN MIRA 3 LMU* и сканирующем зондовом микроскопе *SolverNext*. Удельную поверхность определяли методом низкотемпературной адсорбции азота.

Результаты и обсуждение. Синтез нанопорошков происходит в водной среде (как в методе гидротермального синтеза, так и в методе переосаждения). Их высушивание приводит к агрегации наночастиц за счет действия капиллярных сил в условиях, когда образующиеся ювенильные поверхности создают прочные связи. Для бемита ГТС агрегация частиц происходит уже на стадии синтеза и особенно активно при обычных способах сушки. На сканирующем микроскопе можно было наблюдать как отдельные частицы высушенного порошка, так и агрегаты частиц преимущественно размером 2-3 мкм, максимально до 10 мкм.

Порошки, полученные по технологии переосаждения, часто поставляются в виде суспензии, поскольку ее высушивание приводит к образованию прочных агрегатов. Поэтому в технологии формования полуфабриката экструзию осуществляют из «мокрых» порошков заданной влажности. При влажности меньше оптимальной происходит агрегация частиц, что уменьшает выход готовой продукции.

Исследование влияния ультразвука на процесс диспергирования (разрушение агрегатов) суспензии бемита показало, что за 30 мин обработки средний размер агрегатов частиц уменьшился с 3-5 мкм до 1 мкм. Высушивание суспензии приводит к повторной агрегации частиц. При этом с возрастанием температуры агрегация увеличивается, что проявляется в уменьшении удельной поверхности.

Удельная поверхность составляла 60 $м^2/г$ (температура высушивания 100ºС) и 19-20 $м^2/г$ (температура высушивания 350ºС). В РПА рост числа наночастиц (содержание фракции менее 100 нм) происходит за счет разрушения крупных агрегатов (*рис. 1*). При этом наблюдался разогрев суспензии до 50-70 °С. Из графика видно, что экспериментальные данные с высокой вероятностью можно описисать полиномиальным уравнением второго порядка, которое позволяет прогнозировать процесс измельчения. После 30 мин обработки количество наночастиц достигало 90%. Экспериментальные исследования позволили установить оптимальные значения концентрации бемита в суспензии, длину циркуляционного контура, частоту кавитационных импульсов, время циркуляции суспензии бемита. Измельчение высушенного порошка бемита, полученного гидротермальным синтезом в агрегатах ударно-истирающего действия (шаровая и вибромельница), не привело к получению значительного количества наночастиц. При измельчении в шаровой мельнице мокрым способом удельная поверхность увеличилась незначительно (на 5-10%). После вибропомола (сухой помол) удельная поверхность даже уменьшилась (на 7%) за счет агрегации частиц из-за ударных нагрузок.

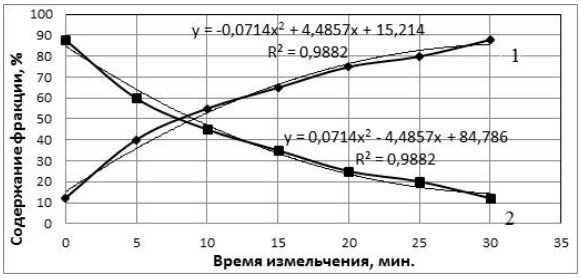


Рис. 1. Изменение фракционного состава бемита ГТС в зависимости от времени измельчения: 1 – содержание фракции менее 100 нм; 2 – содержание фракции более 100 нм

В сушке паром материал под давлением прогревается, после чего давление быстро снижается. За счет аккумулированного тепла происходит бурное парообразование – вскипание влаги.

В результате происходило не только удаление воды, но и разрушение агрегатов. Была разработана циклограмма процесса сушки, обеспечивающая получение нанодисперсного порошка бемита (средний размер частиц менее 100 нм).

В методе механохимической активации порошок бемита выдерживали в растворе азотной кислоты. Это приводит к образованию на поверхности частиц оксинитрата алюминия по механизму нуклеофильного замещения:

$$AIO\,(OH) + NO_3^{-1} = AIO\,(NO_3) + OH^{-1}\,. \qquad (1)$$

В результате ослабляется связь между частицами в агрегатах, что способствует дезагрегации при дальнейшем механическом измельчении в водной среде и стабилизации суспензии. Помол в шаровой мельнице приготовленной суспензии в воде и последующая сушка увеличили удельную поверхность в 2,5 раза до 198 $м^2/г$.

Модифицирование поверхности псевдобемитных промышленных порошков кислотами используется в технологии получения катализаторов. Обработка улучшает пластические свойства формовочной массы, повышает прочность изделий.

Наноструктурные дезагрегированные порошки оксида алюминия образуются при прокаливании оксигидроксида алюминия. При 350-400 °С начинается выделение воды, сопровождающееся разрушением кристаллической структуры бемита с образованием безводных форм оксида алюминия (гамма, дельта, тета, альфа и другие).

Возникающие механические напряжения способствуют разрушению частиц и росту удельной поверхности. Разрушение структуры исходных частиц приводит к уменьшению их размера и соответственно росту удельной поверхности, что характерно для порошков бемита разного происхождения (*рис. 2*).

Уменьшение поверхности при дальнейшем нагреве происходит в результате спекания и рекристаллизации материала.

Характер изменения размера кристаллов и агрегатов в зависимости от температуры противоположен изменению удельной поверхности. Происходит самоизмельчение исходных агрегатов и частиц.

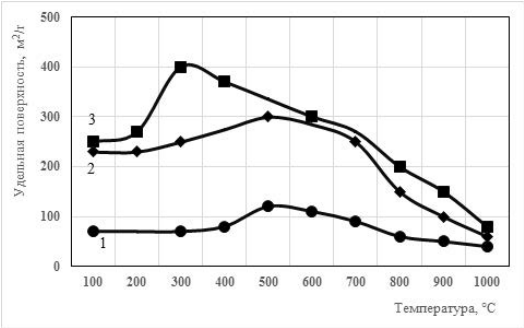


Рис. 2. Изменение удельной поверхности порошков бемита в зависимости от температуры: 1 – бемит ГТС; 2 – метод переосаждения (алюминатный способ; 3 – метод переосаждения (нитратный способ)

После нагревания до 500 ºС размер кристаллов и агрегатов минимальный (не более 10 нм и 70 нм соответственно) (*табл.*). До температуры 1300 °С сохраняется наноструктурное состояние порошка (размер кристаллов не превышает 100 нм).

Таблица

Размер структурных элементов порошка бемита ГТС в зависимости от температуры обработки

Размер структурных Элементов, нм	Температура обработки, °С				
	20	500	900	1100	1300
Размер агрегатов	170	75	80	95	130
Размер кристаллов	30	10	15	30	85

Сохранение дезагрегированного состояния является непростой задачей, которую можно решить путем создания матричных композиций или применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) [9]. В первом случае компоненты матрицы вводили на стадии дезагрегирования порошка бемита в водной среде. Более мелкие частицы бемита с активной поверхностью адсорбируются на крупных частицах матричного компонента. Кроме того, крупные частицы препятствуют слипанию мелких. Во втором случае в процессе дезагрегирования в суспензию вводили ПАВ, которые модифицируют поверхность бемита и также препятствуют слипанию частиц.

Первый вариант реализовали при создании алюмоматричных композиций. Бемит вводили в промышленные порошки глинозема марок Г-00 и ГК. Композиции готовили в РПА, в котором предварительно дезагрегировали исходный порошок бемита. Введение бемита в композицию с промышленными порошками увеличивает плотность сырца, снижает температуру спекания в композиции с глиноземом Г-00 на 50-70°С, увеличивает трещиностойкость композита на 36-38% [10].

Вариант сохранения дезагрегированного состояния за счет применения ПАВ был реализован при создании трибопрепарата [11]. После ультразвуковой дезагрегации бемита в масле вводили ПАВ, что обеспечило агрегативную и седиментационную устойчивость суспензии бемита. Триботехнический препарат обеспечивает коэффициент трения 0,045-0,050 в диапазоне нагрузок 200-550 Н, снижение до двух раз времени приработки и величины износа и в результате уменьшение энергетических, материальных и финансовых затрат.

Выводы. Исследована эффективность различных методов дезагрегации суспензии исходного порошка бемита в воде: в аппарате роторно-пульсационного типа, измельчение в шаровой и ножевой мельницах, механохимическая обработка. Установлена перспективность механохимической обработки и импульсного гидроакустического воздействия, обеспечивающего за 30 минут разрушение агрегатов и снижение среднего размера частиц до 50 нм. Способ сушки суспензии бемита перегретым водяным паром в комбинации с сушкой путем сброса давления является эффективным методом дезагрегации частиц. За счет вскипания воды в объеме суспензии происходит разрушение агрегативной структуры. Одновременно с высушиванием суспензии образуются наночастицы порошка бемита со средним размером менее 100 нм. Нагрев порошков бемита приводит к разрушению исходной кристаллической решетки и образованию безводных форм оксида алюминия. При этом происходит «самоизмельчение» и образование наноразмерных кристаллов и агрегатов. Минимальные размеры наблюдаются при температуре около 500 °С. Сохранение дезагрегированного состояния можно обеспечить путем применения ПАВ или создания матричных композиций.

Библиографический список

1. Черноиванов В.И., Бледных В.В., Косилов А.Н., Басарыгина Е.М. Индустрия наносистем и материалов: Перспективы использования в сельском хозяйстве. М.: ГОСНИТИ. 2007. 240 с.

2. Латыпов Р.А., Денисов В.А., Агеев Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами // Современные материалы, техника и технологии. 2016. N2(5). С. 141-146.

3. Гвоздев А.А., Усольцева Н.А., Березина Е.В., Дунаев А.В., Смирнова А.И. Исследование триботехнических характеристик перспективных смазочных материалов с углеродными наночастицами // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т.130. С. 228-231.

4. Галахов А.В. Агломераты в нанопорошках и технология керамики // Новые огнеупоры. 2009. N9. С. 20-26.

5. Басов В.В., Панов В.С., Мякишева Л.В. Исследование влияния агрегатов, присутствующих в пресс-порошке UO_2, на процессы прессования и спекания топливных таблеток // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. N4. С. 13-15.

6. Сорокина И.И., Астахов М.В. Возможности применения композитных материалов при модернизации и ремонте сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 201-205.

7. Мазалов Ю.А., Федотов А.В., Берш А.В., Судник Л.В., Лисицын А.В. Перспективы применения нанокристаллических оксидов и гидроксидов алюминия // Технология металлов. 2008. N1. С. 8-11.

8. Bersh A.V., Mazalov D.Yu., Solov'ev R.Yu., Sudnik L.V., Fedotov A.V. Nanostructured Disaggregated Aluminum Hydroxide and Oxide Powders. Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Vol. 57. 364-368.

9. Федотов А.В., Ванчурин В.И., Беляков А.В. Нанопорошки оксигидроксида алюминия и области их применения // Современные технологии композиционных материалов: материалы IV Всероссийской заочной научно-практической молодежной конференции с международным участием. Уфа: Башкирский государственный университет. 2019. С. 236-242.

10. Берш А.В., Беляков А.В., Мазалов Д.Ю., Соловьев С.А., Федотов А.В. Корундовая композиционная керамика, полученная с применением наночастиц бемита // Новые огнеупоры. 2016. N10. С. 52-57.

11. Mazalov Ju.A., Solovyev R.Y., Sergeev N.N., Fedotov A.V., Dunaev A.V., Vityas P.A., Sudnik L.V. Investigating the tribological properties of nanostructured boehmite. Friction and wear. 2015. Vol. 36. N6. 481-486.

References

1. Chernoivanov V.I., Blednykh V.V., Kosilov A.N., Basarygina E.M. Industriya nanosistem i materialov: Perspektivy ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystve [Nanosystems and materials industry: Prospects for use in agriculture]. Moscow: GOSNITI. 2007. 240 (In Russian).

2. Latypov R.A., Denisov V.A., Ageyev E.V. Issledovaniye i razrabotka tekhnologii vosstanovleniya vala rotora turbokompressora elektroiskrovoy obrabotkoy elektroerozionnymi nanomaterialami [Research and development of turbocharger rotor shaft recovery technology by electric spark treatment with electroerosive nanomaterials]. Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii. 2016. N2(5). 141-146 (In Russian).

3. Gvozdev A.A., Usol'tseva N.A., Berezina E.V., Dunayev A.V., Smirnova A.I. Issledovaniye tribotekhnicheskikh kharakteristik perspektivnykh smazochnykh materialov s uglerodnymi naochastitsami [Study of tribotechnical characteristics of promising lubricants with carbon nanoparticles].Trudy GOSNITI. 2018. Vol.130. 228-231 (In Russian).

4. Galakhov A.V. Aglomeraty v nanoporoshkakh i tekhnologiya keramiki [Agglomerates in nanopowders and ceramics technology]. Novyye ogneupory. 2009. N9. 20-26 (In Russian).

5. Basov V.V., Panov V.S., Myakisheva L.V. Issledovaniye vliyaniya agregatov, prisutstvuyushchikh v press-poroshke UO_2, na protsessy pressovaniya i spekaniya toplivnykh tabletok [Investigation of influence of aggregates present in UO2 press powder on pressing and sintering processes of fuel tablets]. Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nyye pokrytiya. 2011. N4. 13-15 (In Russian).

6. Sorokina I.I., Astakhov M.V. Vozmozhnosti primeneniya kompozitnykh materialov pri modernizatsii i remonte sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Possibilities of application of composite materials at modernization and repair of agricultural machinery] .Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 118. 201-205 (In Russian).

7. Mazalov Yu.A., Fedotov A.V., Bersh A.V., Sudnik L.V., Lisitsyn A.V. Perspektivy primeneniya nanokristallicheskikh oksidov i gidroksidov alyuminiya [Prospects of application of nanocrystalline oxides and aluminum hydroxides]. Tekhnologiya metallov. 2008. N1. 8-11 (In Russian).

8. Bersh A.V., Mazalov D.Yu., Solov'ev R.Yu., Sudnik L.V., Fedotov A.V. Nanostructured Disaggregated Aluminum Hydroxide and Oxide Powders. Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Vol. 57. 364-368.

9. Fedotov A.V., Vanchurin V.I., Belyakov A.V. Nanoporoshki oksigidroksida alyuminiya i oblasti ikh primeneniya [Aluminum hydroxide nanopowders and their applications]. Sovremennyye tekhnologii kompozitsionnykh materialov: materialy IV Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy molodezhnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy universitet. 2019. 236-242 (In Russian).

10. Bersh A.V., Belyakov A.V., Mazalov D.Yu., Solov'yev S.A., Fedotov A.V. Korundovaya kompozitsionnaya keramika, poluchennaya s primeneniyem nanochastits bemita [Corundum composite ceramics obtained using boehmite nanoparticles]. Novyye ogneupory. 2016. N10. 52-57 (In Russian).

11. Mazalov Ju.A., Solovyev R.Y., Sergeev N.N., Fedotov A.V., Dunaev A.V., Vityas P.A., Sudnik L.V. Investigating the tribological properties of nanostructured boehmite. Friction and wear. 2015. Vol. 36. N6. 481-486.

УДК 629.114.2.01.004.67

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Владимир Михайлович Юдин[1], доктор технических наук, профессор;
Михаил Николаевич Вихарев[1], старший преподаватель,
e-mail: eitsm@rgazu.ru;
Дмитрий Борисович Слинко[2], кандидат технических наук, доцент
[1]Российский государственный аграрный заочный университет,
г. Балашиха, Российская Федерация;
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Ба́умана,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Показали роль гальванических покрытий при восстановлении деталей, преимущества восстановления деталей гальваническими покрытиями перед другими способами, привели характеристики и свойства покрытий, полученных гальваническим железнением и цинкованием, положительные и отрицательные стороны сернокислых и хлористых электролитов, применяемых при железнении. (Цель исследования) Повысить скорость нанесения железных и цинковых гальванических покрытий при восстановлении посадочных поверхностей отверстий корпусных и других деталей. (Материалы и методы) Провели исследования на установке для нанесения гальванических покрытий на внутренние поверхности деталей, используя активаторы, которые применяют при железнении и цинковании. (Результаты и обсуждение) Выявили, что наиболее значимым фактором, влияющим на скорость осаждения железа на изношенные поверхности восстанавливаемых деталей при ремонте машин, служит плотность тока. Повысили плотности тока до 300 ампер на квадратный дециметр путем введения вращающейся перфорированной перегородки между катодом – деталью и растворимым анодом, который компенсирует обеднение электролита в прикатодном пространстве ионов двухвалентного железа, стабилизирует pH электролита и уменьшает содержание гидроксида железа за счет прокачивания со значительной скоростью между ними свежего электролита. Рассмотрели проблемы, возникающие при нанесении гальванических покрытий и основные направления по их решению. Показали перспективы применения цинковых покрытий для восстановления внутренних поверхностей деталей. Подняли рабочую плотность тока до 100-150 ампер на квадратный дециметр за счет активирования катодной поверхности. Определили, что скорость нанесения цинковых покрытий составляет 16-25 микрометров в минуту. Невысокая твердость цинковых покрытий позволяют применять их для восстановления посадочных мест под подшипники. (Выводы) Экспериментальными исследованиями определили условия электролиза при железнении и цинковании, обеспечивающие значительное увеличение катодной плотности тока и скорости нанесения этих покрытий при восстановлении посадочных отверстий корпусных деталей.*

Ключевые слова: *Восстановление, детали, гальванические, композицион-*

ные покрытия, железнение, цинкование, катодная плотность тока, перфорированная перегородка, активатор.

Для цитирования: *Юдин В.М., Вихарев М.Н., Слинко Д.Б. Восстановление посадочных отверстий корпусных деталей гальваническими покрытиями // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 152-159.*

RESTORATION OF LANDING HOLES OF BODY PARTS BY GALVANIC COATING

Vladimir M. Yudin[1], Dr. Sc. (Eng.), professor;
Mikhail N. Vikharev[1], senior lecturer;
Dmitriy B. Slinko[2], PhD (Eng.), associate professor
Russian State Agricultural Correspondence University,
Balashikha, Russian Federation
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow state technical University. N.E. Bauman, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The article shows the role of galvanic coatings in the restoration of parts, the advantages of restoring parts by galvanic coatings over other methods, gives the characteristics and properties of coatings obtained by galvanic iron plating and galvanizing, the positive and negative sides of sulfuric acid and chloride electrolytes used in iron plating. (Research purpose) The research purpose is to increase the speed of application of iron and zinc electroplating in the restoration of the landing surfaces of holes of housing and other parts. (Materials and methods) The article presents conducted research on the installation for electroplating the internal surfaces of parts, using activators, which are used in iron and zinc plating. (Results and discussion) It has been revealed that the most significant factor affecting the speed of iron deposition on the worn surface of the restored parts in the repair of machines is the current density. During the experiments, the current density was increased to 300 amperes per square decimeter by introducing a rotating perforated partition between the cathode-part and the soluble anode, which compensates the depletion of the electrolyte in the cathode space of ferrous ions, stabilizes the pH of the electrolyte and reduces the content of iron hydroxide by pumping at a significant speed the fresh electrolyte between them. The article considers the problems arising during the application of galvanic coatings and the main directions for their solution. Prospects of application of zinc coatings for restoration of internal surfaces of details were shown. The working current density was raised to 100-150 amperes per square decimeter by activating the cathode surface. It was found that the rate of application of zinc coatings is 16-25 micrometers per minute. Low hardness zinc coatings allow them to be used in restoring the bearing seats. (Conclusions) Experimental studies have determined the conditions of electrolysis in iron and zinc plating, providing a significant increase in the cathode current density and the rate of application of these coatings when restoring the landing holes of housing parts.*

Keywords: *recovering, details, galvanic, composite coatings, iron plating, zinc-coating, cathode current density, perforated partition, activator.*

For citation: *Yudin V.M., Vikharev M.N., Slinko D.B. Vosstanovleniye posadochnykh otverstiy korpusnykh detaley gal'vanicheskimi pokrytiyami [Restoration of landing holes of body parts by galvanic coating]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 152-159 (In Russian).*

Введение. Восстановление изношенных деталей гальваническими покрытиями достаточно распространено в ремонтном производстве. Гальванические покрытия имеют ряд преимуществ перед другими способами восстановления:

- отсутствие термического воздействия на детали, вызывающего в них нежелательные изменения структуры и механических свойств;
- получение с большой точностью заданной толщины покрытий;
- осаждение покрытий с заданными непостоянными по толщине физико-механическими свойствами;
- одновременное нанесение покрытий на большое число деталей;
- возможность автоматизации процесса.

Особенно актуально применение гальванических покрытий при восстановлении изношенных поверхностей посадочных отверстий корпусных и некоторых других деталей.

Наиболее широкое применение для восстановления изношенных деталей получил метод железнения. Он обладает хорошими технико-экономическими показателями: исходные материалы и аноды дешевые и недефицитные; высокий выход металла по току (80-95%); скорость осаждения железа составляет 0,2-0,5 мм/ч; толщина твердого покрытия достигает 0,8-1,2 мм; в широких пределах можно регулировать свойства покрытий (микротвердость –1600-7800 МПа). Достаточно высока износостойкость твердых покрытий, не уступающая износостойкости закаленной стали.

Для защиты от коррозии метизов и других деталей, а также для восстановления посадочных поверхностей малонагруженных деталей в ремонтном производстве применяют цинкование.

При этом цинкование проводят в основном из простых и доступных кислых, щелочных, цинкатных или аммиакатных электролитов. Однако при этом плотность тока и скорость нанесения покрытий невысокие.

Поскольку цинковые покрытия характеризуются низкой твердостью и износостойкостью, они имеют ограниченное применение для восстановления изношенных деталей.

Перспективным направлением развития гальванических покрытий служит совершенствование и разработка новых технологических приемов нанесения покрытий. Такими приемами могут быть проточное, струйное нанесение покрытий, перемешивание электролита, активирование покрываемой поверхности, применение периодических токов и другие. Это позволяет существенно повысить скорость нанесения покрытий, положительно влиять на их качество.

Цель исследования – повысить скорость нанесения железных и цинковых гальванических покрытий при восстановлении посадочных поверхностей отверстий корпусных и других деталей.

Материалы и методы. Исследования проводили на установке, схема которой представлена на *рисунке 1*. Она позволяет наносить железные и цинковые покрытия (при использовании соответствующего электролита) на детали 4, размещаемые в ванне 1.

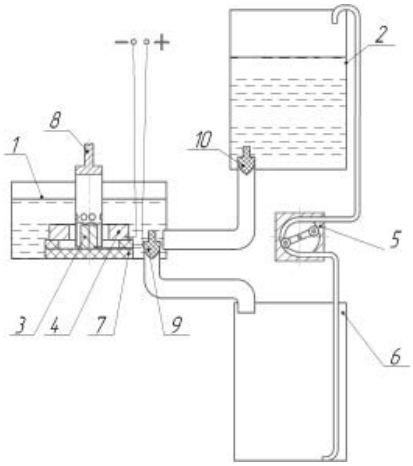


Рис. 1. Установка для нанесения гальванических покрытий на внутренние поверхности деталей: 1 – ванна; 2 - бак с электролитом; 3 – анод; 4 – деталь; 5 – шланговый насос; 6 – бак для слива электролита; 7 – приспособление для установки анода и детали; 8 – перфорированная перегородка (активатор); 9, 10 – клапаны

Анод 3 и подготовленную к покрытию деталь 4 монтируют на приспособление 7, которое затем размещают в ванне 1. При этом в ванне отсутствует электролит, что облегчает требуемую ориентацию приспособления в ванне. После этого ванну 1 заполняют электролитом из бака 2.

Экспериментальные исследования электролитического железнения проводили с использованием вращающейся перфорированной пластмассовой перегородки, размещенной между внутренней поверхностью восстанавливаемого отверстия и анодом.

Для нанесения покрытий использовали хлористый электролит с концентрацией $FeCl_2 4H_2O$ = 580-620 г/л и pH = 0,5-0,7. Этот электролит позволяет осуществлять в нем анодную обработку и нанесение покрытий.

Нанесение цинковых покрытий проводили с использованием активирующих элементов 4 (*рис. 2*), которые перемещались вдоль восстанавливаемой поверхности отверстия и механически воздействовали на нее. Устройство с активирующими элементами соединяли с приводом вращения вместо перфорированной перегородки.

Состав электролита цинкования: 500 г/л сернокислого цинка, 20-30 г/л сернокислого алюминия, pH = 3,5-4,0.

После нанесения гальванического покрытия электролит сливали из ванны 1 в бак 6 (*рис. 1*). Из нижнего бака 6 электролит перекачивали шланговым насосом 5 в бак 2.

Результаты и обсуждение. При железнении из хлористого электролита ограничение катодной плотности тока может быть связанно со значительным понижением концентрации разряжающихся ионов в прикатодном слое, а также повышением pH в прикатодном слое и образованием гидроксида железа. В этих случаях нарушаются условия электролиза.

Мы считаем, что катодная плотность тока при железнении из концентрированного хлористого электролита ограничивается значительным увеличением pH в прикатодном слое и образованием гидроксида железа. Общая катодная плотность тока складывается из парциальных плотностей то-

ка железа двухвалентного и трехвалентного, а также парциальной плотности тока, выделяющегося на катоде совместно с железом водорода. Двухвалентные и трехвалентные ионы железа могут находиться в электролите при разном соотношении концентраций, не взаимодействуя друг с другом. Причем наилучшие условия для получения железных покрытий обеспечиваются в случае отсутствия ионов трехвалентного железа. Однако накопление в электролите трехвалентного железа происходит из-за окисления двухвалентного железа кислородом воздуха, диффундирующим в электролит через его свободную поверхность. Концентрация ионов водорода H+ в электролите связана с pH электролита и по сравнению с концентрацией ионов железа во много раз меньше.

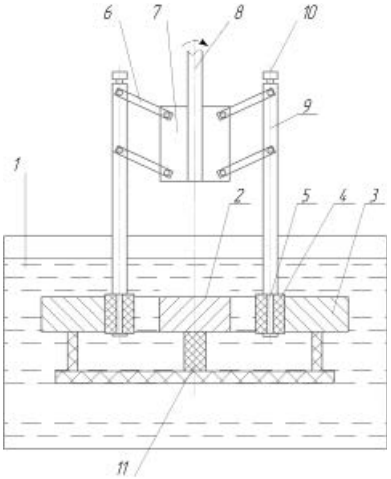


Рис. 2. Устройство для нанесения цинковых покрытий с активаторами: 1 – ванна с электролитом; 2 – анод; 3 – катод – деталь; 4 – активирующий элемент; 5 – держатель; 6 – пластина; 7 – крестовина; 8 – вал; 9 – шатун; 10 – груз; 11 – приспособление для установки анода и детали

В условиях применения высокой катодной плотности тока скорость восстановления ионов H+ на катоде настолько большая, что их убыль из прикатодного слоя не успевает восстанавливаться за счет притока из электролита. В результате pH электролита в прикатодном слое становится значительно больше, чем в общем объеме гальванической ванны. Происходит защелачивание прикатодного слоя и образование большого количества гидроксида железа, который включается в осадок и ухудшает его качество. Наличие в электролите ионов Fe^{3}+ существенно снижает pH гидратообразования. В этом случае образование гидроксида железа может происходить уже при pH = 1,5-1,6.

Таким образом, решающее влияние на ограничение катодной плотности тока при железнении оказывает защелачивание прикатодного слоя. С помощью предлагаемой нами вращающейся пластмассовой перфорированной перегородки обеспечивается интенсивный подвод «свежего» электролита к катоду. За счет этого создаются условия для значительного повышения катодной плотности тока.

Исследования показали, что выход железа по току возрастает с увеличением катодной плотности тока до 150-200 А/дм^2, а при последующем ее увеличении плавно уменьшается (*рис. 3*).

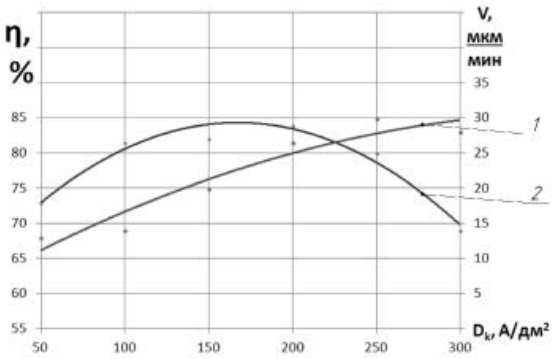


Рис. 3. Влияние катодной плотности тока на выход железа по току и скорость осаждения покрытий (pH = 0,6; V = 1,95 м/с; T = 35⁰C): 1 – зависимость скорости осаждения покрытий от катодной плотности тока; 2 – зависимость выхода железа по току от катодной плотности тока

Считаем, что рост выхода железа по току происходит благодаря увеличению перенапряжения водорода при увеличении плотности тока, однако при этом увеличивается и рост дендритов на острых кромках и других дефектах катодной поверхности. Особенно интенсивно это происходит при увеличении плотности тока более 200 А/дм^2. Этим и объясняется снижение реального выхода железа по току.

При увеличении катодной плотности тока до 200 А/дм^2 выход железа по току достигает 84,3%, а скорость осаждения 27 мкм/мин. Это в 5-8 раз выше, чем при железнении в обычной ванне.Анализ результатов исследований позволяет предложить для железнения внутренних поверхностей деталей следующие условия: электролит $FeCl_2 \times 4H_2O$ – 580-620 г/л; плотность тока *Д*к = 100-200 А/дм^2; температура электролита – 20-60 °С; pH – 0,5-0,8; скорость вращения перегородки *V* = 1,5-2,5 м/с; расстояние от поверхности катода до перегородки – 5-12 мм, между перегородкой и анодом – 0,5-5 мм; толщина перегородки 2-3 мм с отверстиями диаметром от 5 до 10 мм, расположенными в шахматном порядке.

Применение вращающейся пластмассовой перфорированной перегородки при нанесении цинковых покрытий не дало положительных результатов. Это связано с тем, что основной причиной ограничения катодной плотности тока при цинковании из сернокислых электролитов становится химическая поляризация. Для устранения этого ограничения предлагаем использовать устройство с активирующими элементами, которые механически воздействуют на восстанавливаемую поверхность и снижают химическую поляризацию, что обеспечивает увеличение катодной плотности тока и скорости нанесения покрытия (*рис. 2*). На *рисунке 4* представлены результаты экспериментов в виде зависимости скорости нанесения цинкового покрытия от плотности тока.

С увеличением плотности тока увеличивается скорость нанесения покрытия, при этом качество нанесенного покрытия до плотности тока 150-180 А/дм^2 остается на хорошем уровне. Скорость нанесения цинковых покрытий составляет 16-25 мкм/мин, что более чем в 50 раз выше, чем при обычном цинковании. Полученные покрытия имеют невысокую твердость (менее 600 МПа). Их можно использовать для восстановления неподвижных соединений.

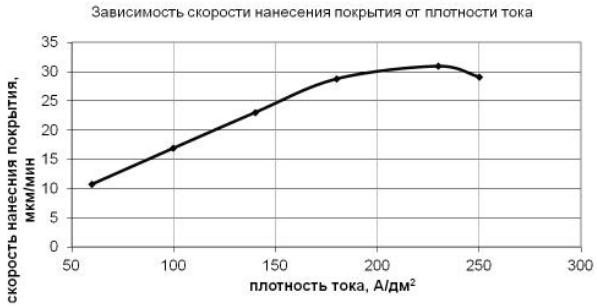


Рис. 4. Зависимость скорости нанесения покрытия от катодной плотности тока: скорость движения активаторов 0,27 м/с; давление активаторов на восстанавливаемую поверхность 0,8 МПа

Выводы. В ходе исследований определены условия электролиза при железнении и цинковании, обеспечивающие значительное увеличение катодной плотности тока и скорости нанесения этих покрытий при восстановлении посадочных отверстий корпусных деталей.

Библиографичесий список

1. *Юдин В.М., Вихарев М.Н. Нанесение гальванических покрытий при больших плотностях тока // Техника и оборудование для села. 2011. N5. С. 22-23.*

2. *Веселовский Н.И., Кулаков К.В., Вихарев М.Н. Восстановление деталей гальваническими покрытиями // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2015. N19(24). С. 63-67.*

3. *Устройство для нанесения гальванических покрытий: пат. 2464361 Рос. Федерация / Юдин В.М., Вихарев М.Н., Берсан В.А., Юдин М.В. 2012. Бюл. N29.*

4. *Юдин В.М., Вихарев М.Н., Филина Н.Н. Восстановление деталей гальваническими покрытиями на основе цинка при больших плотностях тока // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107. N2. С. 124-126.*

5. *Юдин В.М., Кулаков К.В. Установка для нанесения композиционных электрохимическихпокрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 303-305.*

6. *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. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова. 2015. 157 с.*

7. *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.*

8. *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.*

9. *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.*

10. *Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е., Лысенко А.Н., Обозов А.А. Повышение износостойкости деталей электрохимическими сплавами на основе железа // Сельский механизатор. 2017. N2. С. 34-35.*

References

1. Yudin V.M., Vikharev M.N. Naneseniye gal'vanicheskikh pokrytiy pri bol'shikh plotnostyakh toka [Electroplating at high current densities]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2011. N5. 22-23 (In Russian).

2. Veselovskiy N.I., Kulakov K.V., Vikharev M.N. Vosstanovleniye detaley gal'vanicheskimi pokrytiyami [Restoration of parts by electroplating]. Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. 2015. N19(24). 63- 67 (In Russian).

3. Ustroystvo dlya naneseniya gal'vanicheskikh pokrytiy: pat. 2464361 Ros. Federatsiya [Device for applying galvanic coatings: Pat. 2464361 Russian Federation] / Yudin V.M., Vikharev M.N., Bersan V.A., Yudin M.V. 2012. Bul. N29 (In Russian).

4. Yudin V.M., Vikharev M.N., Filina N.N. Vosstanovleniye detaley gal'vanicheskimi pokrytiyami na osnove tsinka pri bol'shikh plotnostyakh toka [Restoration of parts by zinc-based galvanic coatings at high current densities]. Trudy GOSNITI. 2011. Vol. 107. N2. 124-126 (In Russian).

5. Yudin V.M., Kulakov K.V. Ustanovka dlya naneseniya kompozitsionnykh elektrokhimicheskikhpokrytiy [Installation for application of composite electrochemical coatings]. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 121. 303-305. (In Russian).

6. Serebrovskiy V.I., Serebrovskiy V.V., Safronov R.I., Kalutskiy E.S. Elektroosazhdeniye splavov na osnove zheleza iz khloridnykh elektrolitov [Electrodeposition of iron-based alloys from chloride electrolytes]. Nauka v sovremennom informatsionnom obshchestve: materialy V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kursk: Kurskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. professora I.I. Ivanova. 2015. 157 (In Russian).

7. Serebrovskiy V.I., Serebrovskiy V.V., Safronov R.I., Kalutskiy E.S. Elektroosazhdeniye universal'nykh besporistykh pokrytiy iz khloridnykh elektrolitov [Electrodeposition of universal nonporous coatings from chloride electrolytes]. Elektrika. 2015. N4. 27-31 (In Russian).

8. Serebrovskiy V.I., Serebrovskiy A.V., Konyashenko P.YU., Dzhioyev S.I. Vosstanovleniye kolenchatykh valov puskovykh dvigateley elektroliticheskim zhelezneniyem na asimmetrichnom toke [Restoration of crankshafts of starting engines by electrolytic hardening on asymmetric current]. Regional'nyy vestnik. 2017. N2(7). 3-5 (In Russian).

9. 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.

10. Gur'yanov G.V., Kisel'Yu.E., Lysenko A.N., Obozov A.A. Povysheniye iznosostoykosti detaley elektrokhimicheskimi splavami na osnove zheleza [Increase of wear resistance of details by electrochemical alloys on the basis of iron]. Sel'skiy mekhanizator. 2017. N2. 34-35 (In Russian).

УДК 621.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИННОВАЦИОННЫХ СОЖ

Александр Викторович Пыдрин[1], кандидат технических наук, доцент, e-mail: pydrin89@mail.ru;
Елизавета Владимировна Нагнибедова[1], старший преподаватель;
Анна Михайловна Пикина[1], аспирант;
Наджи Наджм Абдулзахра Фархуд[1], аспирант;
Александр Игоревич Прудников[1], магистрант;
Николай Алексеевич Петрищев[2], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
[1]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В процессе резания для уменьшения износа режущего инструмента, снижения температуры в зоне резания и улучшения условий резания применяют различные виды смазывающе-охлаждающих технических сред. Наиболее распространенными стали смазывающе-охлаждающие жидкости ввиду их высокой эффективности и технологичности. (Цель исследования) Определить трибологические характеристики различных видов смазывающе-охлаждающих жидкостей и сравнить их; выявить особенности их применения для повышения эффективности механической обработки. (Материалы и методы) Выбрали для проведения эксперимента две товарные смазывающе-охлаждающие жидкости импортного производства и одну отечественного различных классов, содержащие в своем составе разное количество поверхностно-активных веществ. (Результаты и обсуждение) Провели испытания смазывающе-охлаждающих жидкостей по схеме «ролик – колодка». Выявили экспериментальные зависимости коэффициента трения от силы взаимного прижима образцов для различных концентраций и показали возможность оптимизации состава смазывающе-охлаждающих жидкостей по приведенным показателям. Выбрали в качестве материала колодки сталь 65, материала ролика – серый чугун СЧ20. Получили модели с помощью регрессионного анализа методом наименьших квадратов, по которым представили графическую интерпретацию данных. (Выводы) Смазывающе-охлаждающие жидкости на основе минерального масла не обеспечивают эффективного уменьшения трения, при увеличении их концентрации происходит рост момента и, соответственно, коэффициента трения. При увеличении концентрации от 3 до 10 процентов происходит увеличение коэффициента трения до 50 процентов. Смазывающе-охлаждающие жидкости, содержащие в своем составе поверхностно-активные вещества, эффективнее снижают трение по сравнению со смазывающе-охлаждающими жидкостями, состоящими из минерального масла. На тяжелых режимах момент трения уменьшается в два раза.*

Ключевые слова: *смазывающе-охлаждающая жидкость, поверхностно-ак-*

тивные вещества, температура, трение, машина трения, коэффициент трения.

Для цитирования: *Пыдрин А.В., Нагнибедова Е.В., Пикина А.М., Фархуд Н.Н., Прудников А.И., Петрищев Н.А. Определение трибологических характеристик инновационных СОЖ // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 160-167.*

DETERMINATION OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF INNOVATIVE COOLANT

Aleksandr V. Pydrin[1], PhD (Eng.), associate professor;
Elizaveta V. Nagnibedova$_1$, senior lecturer;
Anna M. Pikina[1], postgraduate;
Nadzhi N. A. Farkhud[1], postgraduate;
Aleksandr I. Prudnikov[1], master's student;
Nikolay A. Petrishchev[2], PhD (Eng.), leading researcher
[1]Russian State Agrarian University – Moscow, Russian Federation, Timiryazev Agricultural Academy, Moscow;
[2]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *During the cutting process for reducing the wear of the cutting tool, reducing the temperature in the cutting zone and improving the cutting conditions, various types of lubricating and cooling media are used. The most common became lubricating and cooling fluids due to their high efficiency and manufacturability. (Research purpose) The research purpose is to determine the tribological characteristics of different types of cooling fluids and compare them; to identify the features of their use to improve the efficiency of machining. (Materials and methods) Two commercial lubricating and cooling liquids of imported production and one of domestic production containing different amounts of surfactants were chosen for the experiment. (Results and discussion) The authors have conducted tests of lubricating and cooling liquids according to the "roller-pad" scheme. The experimental dependences of the friction coefficient on the force of mutual clamping of samples for different concentrations were revealed and the possibility of optimizing the composition of lubricating and cooling liquids according to the given indicators was shown. 65 steel has been chosen as a pad material and SCH20 gray cast iron as roller material. The article presents the models obtained by means of least squares regression analysis, for which a graphical interpretation of the data was presented. (Conclusions) Lubricating and cooling fluids based on mineral oil do not provide an effective reduction of friction, with an increase in their concentration there is an increase in the torque and the friction coefficient. When the concentration increases from 3 to 10 percent, the friction coefficient increases to 50 percent. Lubricating and cooling liquids containing surfactants in their composition effectively reduce friction compared to lubricating and cooling liquids consisting of mineral oil. Heavy-duty friction torque is reduced in two times.*

Keywords: *coolant, surfactants, temperature, friction, friction machine, friction coefficient.*

For citation: *Pydrin A.V., Nagnibedova E.V., Pikina A.M., Farkhud N.N., Prudnikov A.I., Petrishchev N.A. Opredeleniye tribologicheskikh kharakteristik innovatsionnykh SOZH [Determination of tribological characteristics of innovative coolant]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 160-167 (In Russian).*

Введение. Смазывающе-охлаждающие технические средства (СОТС) уже много лет составляют неотъемлемую часть процесса механической обработки деталей машин. Среди широкого спектра средств наиболее распространенными стали смазывающе-охлаждающие жидкости ввиду их высокой эффективности и технологичности.

Интенсификация процессов резания, переход к высокоскоростным методам обработки металлов приводит к увеличению выделения тепла в зоне резания и ускоренному износу инструмента, остро ставит вопрос эффективности применения смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ) [1-3].

СОЖ в зоне резания выполняет ряд функций: снижение износа инструмента путем создания в зоне трения граничной пленки; утилизация выделяемого в процессе резания тепла; удаление стружки и продуктов износа из зоны трения [4].

Эффективность механической обработки можно повысить путем применения более совершенных СОЖ, содержащих в своем составе поверхностно-активные вещества (ПАВ), даже в небольших концентрациях способствующие образованию пленок на трущихся поверхностях [5-12]. Многие виды СОЖ не содержат в своем составе подобных веществ, а состоят из эмульсии минеральных или синтетических масел, молекулы которых не образуют пленок адсорбционного типа. Использование ПАВ в составе позволяет значительно повысить эффективность СОЖ, при этом не только за счет снижения износа инструмента и повышения качества обрабатываемой поверхности, но и за счет повышения коррозионной стойкости обрабатываемой детали [13-16].

Цель исследования – определить трибологические характеристики различных видов смазывающе-охлаждающих жидкостей и сравнить их; выявить особенности их применения для повышения эффективности механической обработки.

Материалы и методы. В качестве исследуемых характеристик выбрали момент и коэффициент трения. Определяли данные характеристики в не только в зависимости от силы взаимного прижима деталей пары трения, параметром также стала и концентрация действующего вещества в водном растворе.

Взяли стандартные СОЖ, которые в исследованиях обозначили как Образец-1, Образец-2 и Образец-3. На основе этих препаратов сделали составы в различной пропорции: 3, 6,5 и 10% концентрата в водном растворе. Для всех выбранных СОЖ концентрация 10% является рекомендованной к применению для обработки большинства конструкционных материалов.

Образец-1: сбалансированная смесь минеральных масел, эмульгатора, ингибитора коррозии и других компонентов, аналог состава типа Эмульсол.

Образец-2: полусинтетический СОЖ, содержит минеральное масло, ингибитор коррозии, биоцидные добавки, эмульгатор и другие компоненты.

Образец-3: синтетический СОЖ не содержит в своем составе минеральных масел. Образец представляет неионогенное поверхностно-активное вещество борат этаноламидов жирных кислот.

Исследования проводили на машине трения модели ИИ 5018, в качестве пары трения выбрали пару «колодка – ролик», причем колодку изготовили из стали 65, ролик – из серого чугуна СЧ20. Микроструктуры ролика и колодки представлены на *рисунке 1*.

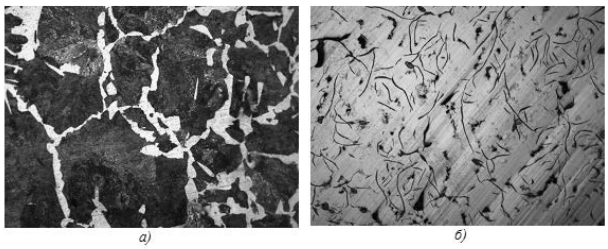


Рис. 1. Микроструктура элементов пары трения: а – перлитно-ферритная структура колодки; б – пластинчатая форма графита, из которого состоит ролик

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 23216-84. Составы исследовали при различных значениях силы прижатия колодки к ролику. Сила прижима изменялась от 200 до 1000Н с шагом 200Н.

В процессе испытаний измеряли установившийся момент трения и в дальнейшем на его основе производили расчет коэффициента трения. Частота вращения ролика во всех экспериментах составляла 300 об/мин.

Результаты и обсуждение. Полученные результаты представлены в виде таблиц и графиков. На графиках точками показаны получившиеся в результате испытаний значения показателей, для которых в дальнейшем путем аппроксимации были получены и построены непрерывные функции, изображенные на графиках в виде линий.

Результаты испытания составов при концентрации 3% представлены в *таблице 1*. На *рисунке 2* графически показаны зависимости момента трения от силы прижима образцов, на *рисунке 3* изображены зависимости коэффициента трения от силы прижима.

Аналогичные результаты для составов с концентрацией 6,5% представлены *в таблице 2* и на *рисунке 4*, для концентрации 10% – *в таблице 3*.

Таблица 1

Зависимость момента и коэффициента трения от силы прижима образцов. Концентрация составов 3%

Сила прижима образцов Р, Н	Образец-1		Образец-2		Образец-3	
	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения
200	1,05	0,21	0,9	0,18	1,05	0,21
400	2,7	0,27	1,65	0,17	1,65	0,17
600	2,85	0,19	2,175	0,15	2,25	0,15
800	3,3	0,17	2,55	0,13	2,7	0,14
1000	3,6	0,14	2,85	0,11	3	0,12

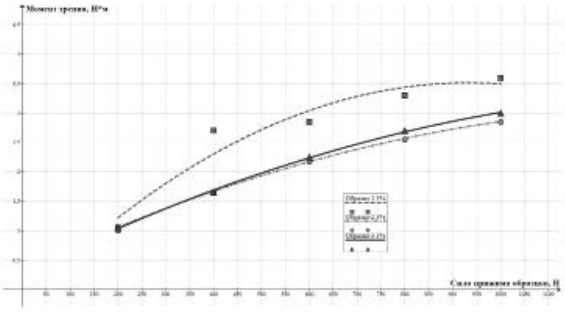


Рис. 2. Зависимость момента трения от силы прижима образцов при испытании составов с концентрацией 3%

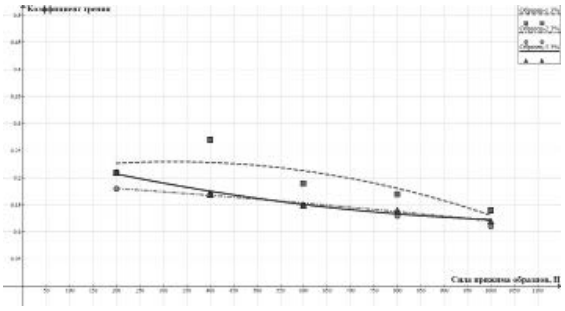


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от силы прижима образцов при испытании составов с концентрацией 3%

Таблица 2

Зависимость момента и коэффициента трения от силы прижима образцов. Концентрация составов 6,5%

Сила прижима образцов Р, Н	Образец-1		Образец-2		Образец-3	
	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения
200	1,5	0,3	0,9	0,18	1,05	0,21
400	2,7	0,27	1,5	0,15	1,65	0,165
600	3	0,2	2,475	0,165	2,25	0,15
800	3,75	0,19	2,4	0,12	2,7	0,135
1000	3,9	0,16	2,85	0,114	2,7	0,108

Примечания. Образец-1 при испытаниях показал крайне нестабильные результаты, переходный процесс после увеличения нагрузки протекает дольше, чем у других составов, в образцах СОЖ визуально видно большое число продуктов износа, особенно после испытаний при высоких нагрузках.

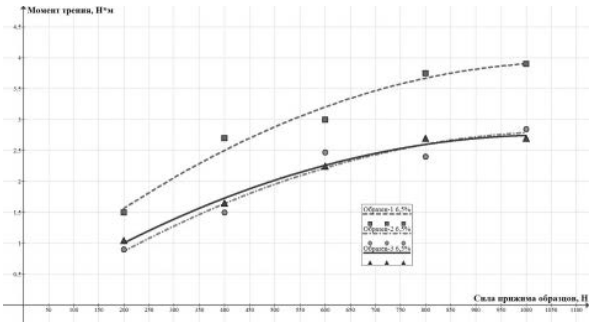


Рис. 4. Зависимость момента трения от силы прижима образцов при испытании составов с концентрацией 6,5%

Таблица 3

Зависимость момента и коэффициента трения от силы прижима образцов. Концентрация составов 10%

Сила прижима образцов Р, Н	Образец-1		Образец-2		Образец-3	
	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения	момент трения, Н·м	коэф. трения
200	2,4	0,48	0,975	0,195	0,9	0,18
400	3,3	0,33	1,35	0,135	1,5	0,15
600	4,2	0,28	1,95	0,13	2,1	0,14
800	4,95	0,25	2,55	0,128	2,7	0,135
1000	Испытания остановлены, момент трения очень высок и нестабилен.		2,85	0,114	3	0,12

Исследования выявили, что СОЖ, состоящие преимущественно из минерального масла, не обеспечивают эффективного снижения трения, а это может привести к ускоренному износу режущего инструмента. Также для подобных СОЖ концентрация 10% не является оптимальной с точки зрения снижения затрат на трение. Для снижения трения в процессе обработки с целью образования граничной пленки в зоне трения в состав СОЖ необходимо вводить ПАВ. Из приведенных данных видно, что Образец-2 и Образец-3 показали очень близкие результаты практически на всех режимах испытания. Для полноценного исследования характеристик различных СОЖ требуется проведение дополнительных исследований, таких как определение коррозионной стойкости различных материалов после обработки приведенными составами, определение шероховатости поверхности и другие. Данные испытания авторы проведут в дальнейших работах.

Выводы. СОЖ на основе минерального масла не обеспечивает эффективного уменьшения трения, при увеличении концентрации происходит рост момента и, соответственно, коэффициента трения. При увеличении концентрации составов от 3 до 10% коэффициент трения взрастает до 50%. СОЖ, содержащие в своем составе ПАВ, эффективнее снижают трение по сравнению с СОЖ, состоящими из минерального масла. На тяжелых режимах момент трения уменьшается в 2 раза.

Библиографический список

1. Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Титов Н.В., Тарасов В.А., Гайдар С.М., Прокошина Т.С., Пузряков А.Ф. Технология машиностроения: Лабораторный практикум. Санкт-Петербург: Лань. 2015. 272 с.

2. Ингибитор коррозии металлов: пат. 2263160 Рос. Федерация / Гайдар С.М., Тарасов А.С., Лазарев В.А.; заявл. 12.10.2004; опубл. 27.10.2005.

3. Гайдар С.М. Этаноламиды карбоновых кислот как полифункциональные ингибиторы окисления углеводородов // Химия и технология топлив и масел. 2010. N6(562). С. 16-20.

4. Гайдар С.М., Карелина М.Ю., Колокатов А.М., Пыдрин А.В. Исследование противоизносных свойств СОЖ в процессе обработки металлов резанием // Технология металлов. 2019. N9. С. 32-35.

5.Гайдар С.М., Чумаков А.Г. Перспективы применения нанотехнологий в двигателестроении // Авиационно-космическая техника и технология. 2009. N10(67). С. 12-16.

6. Гайдар С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дис. … докт. техн. наук. М.: Московский государственный агроинженерный университет. 2011. 352 с.

7. Гайдар С.М., Дёмина Л.Ю., Дмитревский А.Л., Петровская Е.А. Полифункциональные ингибиторы биокоррозии – эффективное средство повышения сохраняемости машин в животноводстве // Техника и оборудование для села. 2014. N4. С. 26-29.

8. Кравченко И.Н., Гайдар С.М., Жуков Л.В., Ларин П.Г. Обоснование факторов, оказывающих влияние на надежность специальной техники в особых условиях эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2014. N3-2. С. 262-266.

9. Гайдар С.М., Петровская Е.А. Обеспечение износостойкости узлов трения // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященная 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА. Пенза. 2016. С. 99-102.

10. Консервационная консистентная смазка: пат. 2553001 Рос. Федерация / Гайдар С.М., Дмитриевский А.Л., Петровский Д.И., Петровская Е.А.; заявл. 22.04.2014; опубл. 06.10.2015.

11. Гайдар С.М., Быкова Е.В., Карелина М.Ю. Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностно-активными веществами, для защиты сельхозтехники // Техника и оборудование для села. 2015. N7. С. 34-38.

12. Гайдар С.М., Свечников В.Н., Усманов А.Ю., Иванов М.И. Улучшение эксплуатационных характеристик двигателя с применением нанотехнологий // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. N1. С. 4-8.

13. Гайдар С.М., Кононенко А.С. Ингибированные составы для хранения сельскохозяйственной техники // Техника в сельском хозяйстве. 2011. N3. С. 21-22.

14. Карелина М.Ю., Пыдрин А.В. Оптимальный ингибированный состав для антикоррозионной обработки машин и оборудования АПК // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: сборник. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2015. С. 110-115.

15. Карелина М.Ю., Петровская Е.А., Пыдрин А.В. Оптимизация ингибированного состава для обеспечения сохраняемости сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 121. С. 89-93.

16. Пыдрин А.В. Повышение коррозионной стойкости низкоуглеродистых сталей применением полифункциональных ингибиторов // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2016. N4 (74). С. 46-50.

References

1. Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Titov N.V., Tarasov V.A., Gaydar S.M., Prokoshina T.S., Puzryakov A.F. Tekhnologiya mashinostroyeniya: Laboratornyy praktikum [Engineering technology: Laboratory workshop]. Saint Petersburg: Lan'. 2015. 272 (In Russian).

2. Ingibitor korrozii metallov: pat. 2263160 Ros. Federatsiya [Inhibitor of metals corrosion: Pat. 2263160 Russian Federation] / Gaydar S.M., Tarasov A.S., Lazarev V.A.; appl. 12.10.2004; pub. 27.10.2005 (In Russian).

3. Gaydar S.M. Etanolamidy karbonovykh kislot kak polifunktsional'nyye ingibitory okisleniya uglevodorodov [Carboxylic acid ethanolamides as polyfunctional inhibitors of hydrocarbon oxidation]. Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2010. N6(562). 16-20 (In Russian).

4. Gaydar S.M., Karelina M.Yu., Kolokatov A.M., Pydrin A.V. Issledovaniye protivoiznosnykh svoystv SOZh v protsesse obrabotki metallov rezaniyem [Study of antiwear properties of coolant in the process of metal cutting]. Tekhnologiya metallov. 2019. N9. 32-35 (In Russian).

5. Gaydar S.M., Chumakov A.G. Perspektivy primeneniya nanotekhnologiy v dvigatelestroyenii [Prospects of nanotechnology application in engine building]. Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. 2009. N10(67). 12-16 (In Russian).

6. Gaydar S.M. Zashchita sel'skokhozyaystvennoy tekhniki ot korrozii i iznosa s primeneniyem nanotekhnologiy: dis. … dokt. tekhn. Nauk [Protection of agricultural machinery from corrosion and wear using nanotechnology: diss. ... doct. tech. sciences]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet. 2011. 352 (In Russian).

7. Gaydar S.M., Dëmina L.YU., Dmitrevskiy A.L., Petrovskaya E.A. Polifunktsional'nyye ingibitory biokorrozii – effektivnoye sredstvo povysheniya sokhranyayemosti mashin v zhivotnovodstve [Multifunctional corrosion inhibitors as an effective means of improving the preservation of machines in animal husbandry]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2014. N4. 26-29 (In Russian).

8. Kravchenko I.N., Gaydar S.M., Zhukov L.V., Larin P.G. Obosnovaniye faktorov, okazyvayushchikh vliyaniye na nadezhnost' spetsial'noy tekhniki v osobykh usloviyakh ekspluatatsii [Justification of the factors influencing reliability of special equipment in special operating conditions]. Fundamental'nyye issledovaniya. 2014. N3-2. 262-266 (In Russian).

9. Gaydar S.M., Petrovskaya E.A. Obespecheniye iznosostoykosti uzlov treniya [Ensuring wear resistance of friction units] .Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoye razvitiye APK Rossii: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennaya 65-letiyu FGBOU VO Penzenskaya GSKHA. Penza. 2016. 99-102 (In Russian).

10. Konservatsionnaya konsistentnaya smazka: pat. 2553001 Ros. Federatsiya [Preservation lubricant: Pat. 2553001 Russian Federation] / Gaydar S.M., Dmitriyevskiy A.L., Petrovskiy D.I., Petrovskaya E.A.; appl. 22.04.2014; pub. 06.10.2015.

11. Gaydar S.M., Bykova E.V., Karelina M.YU. Perspektivy ispol'zovaniya lakokrasochnykh materialov, modifitsirovannykh ftorsoderzhashchimi poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami, dlya zashchity sel'khoztekhniki [Prospects for the use of paint and varnish materials modified with fluorine-containing surfactants for the protection of agricultural machinery]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2015. N7. 34-38 (In Russian).

12. Gaydar S.M., Svechnikov V.N., Usmanov A.Yu., Ivanov M.I. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik dvigatelya s primeneniyem nanotekhnologiy [Improvement of engine performance using nanotechnology]. Trudy GOSNITI. 2013. 111. N1. 4-8 (In Russian).

13. Gaydar S.M., Kononenko A.S. Ingibirovannyye sostavy dlya khraneniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Inhibited formulations for storage of agricultural machinery] . Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2011. N3. 21-22 (In Russian).

14. Karelina M.Yu., Pydrin A.V. Optimal'nyy ingibirovannyy sostav dlya antikorrozionnoy obrabotki mashin i oborudovaniya APK [Optimal inhibited composition for anticorrosive treatment of agricultural machinery and equipment]. Innovatsionnyye napravleniya razvitiya tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva: sbornik. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. 2015. 110-115 (In Russian).

15. Karelina M.Yu., Petrovskaya E.A., Pydrin A.V. Optimizatsiya ingibirovannogo sostava dlya obespecheniya sokhranyayemosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Optimization of inhibited composition to ensure the preservation of agricultural machinery]. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 121. 89-93 (In Russian).

16. Pydrin A.V. Povysheniye korrozionnoy stoykosti nizkouglerodistykh staley primeneniyem polifunktsional'nykh ingibitorov [Increase of corrosion resistance of low-carbon steels by application of multifunctional inhibitors]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V.P. Goryachkina. 2016. N4 (74). 46-50 (In Russian).

УДК 62-626.42

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Илдар Исмагилович Габитов,
доктор технических наук, профессор;
Константин Васильевич Костарев,
кандидат технических наук, доцент;
Денис Фаилевич Балтиков, кандидат технических наук,
e-mail: baltikov21@gmail.com
Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. *В Российской Федерации имеется множество сельскохозяйственных предприятий, развитие которых сдерживается энергетической и транспортной инфраструктурами. В связи с этим остро стоит вопрос обеспечения удаленных предприятий автономными энергетическими установками. (Цель исследования) Оптимизировать конструктивные и технологические параметры газогенераторной установки и провести экспериментальные исследования с учетом использования математических данных. (Материалы и методы) Применили методы системного анализа и синтеза, моделирования; использовали положения законов теплового баланса и математики. (Результаты и обсуждение) Выявили, что результаты моделирования работы газогенераторной установки позволяют оптимизировать ее конструктивные и технологические параметры в зависимости от потребности энергии или утилизация необходимого объема отходов. Определили оптимальные параметры газогенераторной установки для работы в условиях молочно-товарной фермы на 100 голов крупного рогатого скота: диаметр котла должен составлять 0,46 метров; скорость генераторного газа в змеевике охладителя равна 37 метрам в секунду; диаметр резервуара хранения воды – 0,58 метров. Экспериментальным путем были определены температурные режимы установки и характеристика изменения состава генераторного газа от количества подаваемого воздуха в камеру газификации. (Выводы) Созданная математическая модель позволяет оптимизировать конструктивные и технологические параметры газогенераторной установки в зависимости от потребности энергии. Экономический эффект от внедрения энергетического комплекса в молочно-товарную ферму с поголовьем 100 голов: себестоимость производства молока за 1 килограмм снизится на 0,50 рублей.*

Ключевые слова: *газогенераторная установка, твердые отходы, пиролиз, генераторный газ, температура, тепломассообмен.*

Для цитирования: *Габитов И.И., Костарев К.В., Балтиков Д.Ф., Моделирование конструктивных и технологических параметров газогенераторной установки // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 168-173.*

MODELING OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF GAS GENERATOR

Ildar I. Gabitov, Dr. Sc. (Eng.), professor;
Konstantin V. Kostarev, PhD (Eng.), associate professor;
Denis F. Baltikov, PhD (Eng.),
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. *In the Russian Federation, there are many agricultural enterprises, the development of which is constrained by energy and transport infrastructure. In this regard, the issue of providing remote enterprises with autonomous power plants is urgent. (Research purpose) The research purpose is optimization the design and technological parameters of the gas generator set and to conduct experimental studies taking into account the mathematical data. (Materials and methods) During the study, the methods of system analysis and synthesis, modeling, laws of heat balance and mathematics were used. (Results and discussion) It has been revealed that the results of modeling the operation of the gas generator set allow optimizing its design and technological parameters depending on the energy demand or utilization of the required amount of waste. It were determined the optimal parameters of the gas generator set for operation in a dairy farm for 100 heads of cattle: the diameter of the boiler should be 0.46 meters; the speed of the generator gas in the cooler coil is 37 meters per second; the diameter of the water storage tank is 0.58 meters. The temperature modes of the plant and the characteristics of changes in the composition of the generator gas from the amount of air supplied to the gasification chamber were obtained experimentally. (Conclusions) The created mathematical model allows optimizing the design and technological parameters of the gas generator set depending on the energy demand. The economic effect of the introduction of the energy complex in a dairy farm with a livestock of 100 heads decreases the cost of milk production per 1 kg by 0.50 rubles.*

Keywords: *gas generator plant, solid waste, pyrolysis, generator gas, temperature, heat and mass transfer.*

For citation: *Gabitov I.I., Kostarev K.V., Baltikov D.F., Modelirovaniye konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov gazogeneratornoy ustanovki [Modeling of constructive and technological parameters of gas generator]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 168-173 (In Russian).*

Введение. Во многих странах мира сталкиваются с проблемами утилизации твердых горючих отходов. В основном это отходы сельскохозяйственных, лесопромышленных, коммунальных и других предприятий.

Отходы можно преобразовать в энергию – мусор сжигают в специальных печах или котлах для выработки тепла, пара и/или электричества.

Энергосодержащие отходы используют сразу без какой-либо переработки в качестве топлива для двигателей или, переработав их, в виде любого другого вида топлива. Обработка отходов посредством высоких температур позволяет использовать их как источник топлива как для приготовления пищи и отопления помещений, так и для обеспечения работы котлов, с помощью которых вырабатываются пар и электроэнергия. При сжигании газа получают электричество и пар. Тем самым данные отходы можно утилизировать, решая экологическую проблему, и получать дополнительную

энергию, которую можно направить на различные нужды [1-4].

В большинстве работ рассматриваются математические модели для разработки и усовершенствования газогенераторной установки [2, 5, 6]. Вместе с тем вопросы оптимизация конструктивных и технологических параметров пиролизных котлов не рассматривались.

Цель исследования – оптимизировать конструктивные и технологические параметры газогенераторной установки и провести экспериментальные исследования с учетом использования математических данных.

Материалы и методы. На базе Башкирского государственного аграрного университета был разработан энергетический комплекс на основе автомобильной газогенераторной установки [7-10]. При создании данного комплекса учли все недостатки предшествующих установок. Созданный комплекс может вырабатывать не только генераторный газ (ГГ), но и тепловую энергию в виде нагретой воды.

Результаты и обсуждение. На теоретическом этапе проводили исследования по разработке модели для оптимизации конструктивных и технологических параметров газогенераторной установки (*рис. 1*). В качестве оптимизируемых параметров приняли: диаметр котла ГГУ(d_{ki}), температуру воды на выходе из котла ($t''_{вкi}$), диаметр спирали змеевика(d_{ci}), скорость прохождения газа в змеевике (v_{oxi}) и диаметр резервуара горячей воды D_{pi}. Критерием оптимизации стали приведенные затраты $З_п$, руб/(кВт·ч).

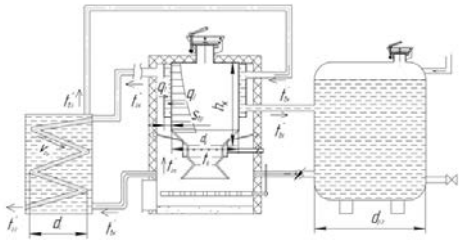


Рис. 1. Расчетная схема газогенераторной установки для оптимизации конструктивных параметров

На основе использования известных законов тепломассообмена для расчетной схемы были выведены следующие уравнения:

- градиент температуры стенки водяной рубашки котла с внутренней стороны:

$$\frac{dt_{ct1}}{dh_x} = t'_{вк} - \frac{k_1}{\alpha_1}(t'_{г.к} - t''_{в.к}), \quad (1)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от стенки водяной рубашки к воде, Вт/(м^2·К); $t''_{вк}$ – температура воды в котле °С; k_1 – коэффициент теплоотдачи от газа к стенке водяной рубашки, Вт/(м^2·*К*); $h_к$ – высота стенки котла ГГУ, омываемой ГГ, м;

- градиент температуры стенки водяной рубашки со стороны газовой рубашки:

$$\frac{dt_{cm2}}{dh_k} = t'_{г.к} - \frac{k_1}{\alpha_2}(t'_{г.к} - t''_{в.к}), \quad (2)$$

где ($t'_{г.к}$)– температура газа в котле ГГУ, °С;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от газа к стенке, Вт/(м^2·К);

- градиент температуры стенки котла со стороны водяной рубашки:

$$\frac{dt_{ст3}}{dh_к} = \left(\frac{\alpha_3 \cdot t'_в + \lambda_к}{b_к} \cdot t'_к\right) / \left(\alpha_3 + \frac{\lambda_к}{b_к}\right), \quad (3)$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде;

$t'_в$ – текущая температура воды в котле по высоте, ℃;

$\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности стенки котла, Вт/(м·К);

$b_к$ – толщина стенки котла, м;

$t'_к$ – текущая температура котла относительно высоты котла ГГУ, °С.

- градиент текущей температуры котла относительно его высоты, $t'_к$:

$$\frac{dt_k}{dh_k} = \frac{(t_{k.max} - 60)}{e^{\left(-60{,}38\, h'_k + 0{,}052767\ t_{k.max} + h'_k + 18521\ h'^{0{,}94}_k\right)}} + 60, \quad (4)$$

где $t_{k.max}$ – максимальная температура в котле ГГУ, °С;

$h'_к$ – текущая высота котла ГГУ, м.

- градиент температуры газа в газовой рубашке по высоте котла ГГУ, $t'_г$:

$$\frac{dt'_г}{dh_k} = \pi\ k_1 \cdot \frac{d_{г.р}}{q_{ггу}\, \rho_г\, c_г} (t'_{г.к} - t''_{в.к})\ c_i\ , \quad (5)$$

где $q_{ггу}$ – производительность ГГУ по выработке газа, м³/с;

$d_{г.р}$ – диаметр газовой рубашки, м; $\rho_г$ – плотность генераторного газа, кг/м³;

$c_г$ – теплоемкость генераторного газа, Дж/(кг·°С); c_i – шаг интегрирования;

- градиент текущей температуры газа относительно высоты котла ГГУ:

$$\frac{dt'_{г.к}}{dh_k} = t'_{г.к.max} - \Delta t'_г\,, \quad (6)$$

где $t'_{г.к.max}$– максимальная температура газа в котле, °С.

- градиент температуры воды в водяной рубашке относительно высоты котла ГГУ:

$$\frac{dt_в}{dh_k} = \frac{\pi \cdot (q_в \cdot c_в) \cdot (k_1 \cdot d_{в.р} \cdot (t'_{г.к} - t''_{в.к}) + d_{ki} \cdot \alpha_в \cdot \lambda_{в.р} \cdot (t'_k - t''_{в.к})}{(\lambda_{в.р} + \alpha_в \cdot b_k)} \cdot c_i, \quad (7)$$

где $q_в$ – массовый расход горячей воды, кг/с;

$c_в$ – теплоемкость воды, Дж/(кг · ℃);

$d_{в.р}$ – диаметр водяной рубашки, м;

d_k – диаметр котла, м.

С использованием уравнений (1) – (7) провели численные исследования по оптимизации конструктивных и технологических параметров газогенераторной установки для энергообеспечения молочно-товарной фермы на 100 гол. крупного рогатого скота (*рис. 2*). В результате оптимизации конструктивных и технологических параметров ГГУ определили их оптимальные значения: диаметр котла ГГУ-$d_к$= 0,46 м (*рис. 2, а*); скорость ГГ в змеевике охладителя $v_{ох_i}$ = 37 м/с при диаметре спирали змеевика $d_с$= 0,30 м (*рис. 2,б*); диаметр резервуара хранения воды – $d_{р.в}$= 0,58 м (*рис. 2, в*) при температуре воды на выходе из котла $t''_{в.к}$= 95°С и при зазоре водяной рубашки $S_{в.р.}$= 0,035 м. Полученные данные зависят от вида используемого топлива, но незначительно, так как характеристики твердых пород деревьев практически одинаковы.

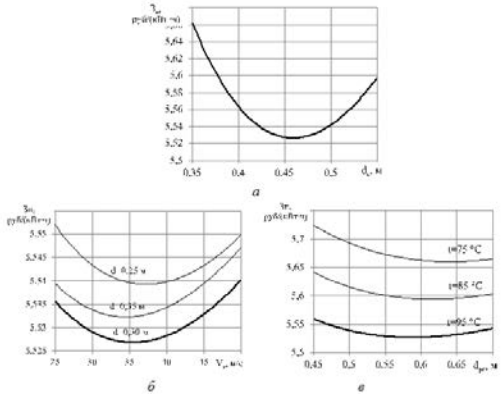


Рис. 2. Зависимость удельно-приведенных затрат: а – от диаметра котла ГГУ; б – скорости ГГ в змеевике охладителя при различных диаметрах спирали змеевика; в – диаметра резервуара горячей воды при различных температурах горячей воды

Выводы. Определены оптимальные параметры ГГУ для работы в условиях МТФ на 100 гол. крупного рогатого скота. Полученная математическая модель позволяет оптимизировать конструктивные и технологические параметры ГГУ в зависимости от потребности энергии. Экономический эффект от внедрения энергетического комплекса в молочно-товарную ферму с поголовьем 100 гол.: себестоимость производства молока за 1 кг снизится на 0,50 руб.

Библиографический список

1. *Усеев Н.Ф., Инсафуддинов С.З. Повышение термического сопротивления изоляционных материалов применением энергосберегающего устройства для поверхностного напыления пенополиуретана // Современные технологии в системах отопления, водоснабжения и вентиляции: материалы IV международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XX специализированной выставки «Отопление. Водоснабжение. Вентиляция». Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2016. С. 88-92.*
2. *Инсафуддинов С.З. Энергосберегающий пиролизный котел с модернизированной камерой экзотермического распада топлива // Достижения науки и инновации для аграрного производства: материалы национальной научной конференции. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2016. С. 209-213.*
3. *Levin A.A., Kozlov A.N., Svishchev D.A., Donskoy I.G. Cfd-modeling of the multistage gasifier capacity of 30 Kw. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 891. 012229.*
4. *Heidenreich S., Foscolo P.U. New concepts in biomass gasification. Progress in Energy and Combustion Science. 2015. N46. 72-95.*
5. *Xiao Lv., Xiao J., Du Y., Shen L., Zhou Y. Experimental study on biomass steam gasification for hydrogen-rich gas in double-bed reactor. Int. J. Hydrogen Energy. 2014. N39. 20968-20978.*
6. *Dubinin A.M., Tuponogov V.G., Kagramanov Y.A. Air-based coal gasification in a two-chamber gas reactor with circulating fluidized bed. Thermal Engineering. 2017. Vol. 64. N1. 46-52.*
7. *Козеев А.А., Балтиков Д.Ф., Лукманов Р.Л. Оптимизация параметров энергетического комплекса на основе газогенераторной установки // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 108-114.*
8. *Габитов И.И., Козеев А.А., Балтиков Д.Ф. Анализ работы энергетического комплекса с газогенераторной установкой обращенного процесса в летней молочно-товарной ферме // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 71-78.*

9. Балтиков Д.Ф., Габитов С.И. Газогенераторная установка с модернизированным котлом для энергообеспечения автономных малых производств // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 35-39.

10. Gabitov I.I., Yukhin G.P., Martynov V.M., Galiullin R.R., Kostarev K.V., Negovora A.V., Mudarisov S.G., Yunusbaev N.M., Kozeev A.A., Baltikov D.F. Modeling the power plant operation to optimize the technological and design parameters of the gas generator unit. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. NS11. C. 8857-8864.

References

1. Useyev N.F., Insafuddinov S.Z. Povysheniye termicheskogo soprotivleniya izolyatsionnykh materialov primeneniyem energosberegayushchego ustroystva dlya poverkhnostnogo napyleniya penopoliuretana [Increase of thermal resistance of insulating materials by application of energy saving device for surface spraying of polyurethane foam]. Sovremennyye tekhnologii v sistemakh otopleniya, vodosnabzheniya i ventilyatsii: materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, provodimoy v ramkakh XX spetsializirovannoy vystavki «Otopleniye. Vodosnabzheniye. Ventilyatsiya». Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2016. 88-92 (In Russian).

2. Insafuddinov S.Z. Energosberegayushchiy piroliznyy kotel s modernizirovannoy kameroy ekzotermicheskogo raspada topliva [Energy-saving pyrolysis boiler with upgraded fuel exothermic decay chamber]. Dostizheniya nauki i innovatsii dlya agrarnogo proizvodstva: materialy natsional'noy nauchnoy konferentsii. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2016. 209-213 (In Russian).

3. Levin A.A., Kozlov A.N., Svishchev D.A., Donskoy I.G. Cfd-modeling of the multistage gasifier capacity of 30 Kw. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 891. 012229.

4. Heidenreich S., Foscolo P.U. New concepts in biomass gasification. Progress in Energy and Combustion Science. 2015. N46. 72-95.

5. Xiao Lv., Xiao J., Du Y., Shen L., Zhou Y. Experimental study on biomass steam gasification for hydrogen-rich gas in double-bed reactor. Int. J. Hydrogen Energy. 2014. N39. 20968-20978.

6. Dubinin A.M., Tuponogov V.G., Kagramanov Y.A. Air-based coal gasification in a two-chamber gas reactor with circulating fluidized bed. Thermal Engineering. 2017. Vol. 64. N1. 46-52.

7. Kozeyev A.A., Baltikov D.F., Lukmanov R.L. Optimizatsiya parametrov energeticheskogo kompleksa na osnove gazogeneratornoy ustanovki [Optimization of the parameters of the energy complex on the basis of a gas generator set]. Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. 108-114 (In Russian).

8. Gabitov I.I., Kozeyev A.A., Baltikov D.F. Analiz raboty energeticheskogo kompleksa s gazogeneratornoy ustanovkoy obrashchennogo protsessa v letney molochno-tovarnoy ferme [Analysis of operation of energy complex with gas generator set of reversed process in summer dairy farm]. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 126. 71-78 (In Russian).

9. Baltikov D.F., Gabitov S.I. Gazogeneratornaya ustanovka s modernizirovannym kotlom dlya energoobespecheniya avtonomnykh malykh proizvodstv [Gas generator set with upgraded boiler for power supply of autonomous small industries]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 123. 35-39 (In Russian).

10. Gabitov I.I., Yukhin G.P., Martynov V.M., Galiullin R.R., Kostarev K.V., Negovora A.V., Mudarisov S.G., Yunusbaev N.M., Kozeev A.A., Baltikov D.F. Modeling the power plant operation to optimize the technological and design parameters of the gas generator unit. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. NS11. 8857-8864.

УДК 621.78.621.8

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР В ЗОНЕ КОНТАКТА ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКЕ ЛЕНТЫ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ИСТОЧНИКА ТОКА

Марс Нуруллович Фархшатов, доктор технических наук, профессор кафедры, e-mail: farhshatov.mn.bsau@gmail.com;
Риваз Фаизович Масягутов, ассистент кафедры
Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. *Изучили температурный режим в зоне контакта при восстановлении деталей электроконтактной приваркой стальной ленты при работе источника тока в импульсном режиме. На температуру, которая образуется в зоне контакта, влияет более 15 факторов; от ее величины зависит качество приваренного слоя, в частности, привариваемость (сцепляемость) ленты к основе и структурные превращения в ленте и в основе. (Цель исследования) Разработать методику расчета температуры в зоне контакта ролик-электрод – восстанавливаемая деталь при электроконтактной приварке стальной ленты в импульсном режиме подачи тока. (Материалы и методы) Приняли традиционную схему электроконтактной приварки стальной ленты в качестве расчетной схемы для определения температуры в зоне контакта. Решили выполнить эту задачу на соответствующих математических моделях. (Результаты и обсуждение) Определили при заданных параметрах, что в неравномерном по глубине приваренном слое температура выше вблизи источника тепла и на поверхности восстанавливаемой детали. Выявили, что по ширине ролика-электрода температура распределяется по нормально-линейному закону. Доказали методами расчетов, как зависит распределение температуры в зоне контакта ролика-электрода от условного радиуса пятна нагрева и ширины рабочей поверхности. (Выводы) Расчетным путем определили изменения характера распределения тепла в зоне контакта при изменении ширины рабочей поверхности ролика-электрода. По ширине рабочей поверхности ролика-электрода температура распределяется равномерно, оптимальная глубина нагрева обеспечивается при ширине рабочей поверхности 4 и 6 миллиметров. Однако при ее ширине 4 миллиметра велика вероятность быстрого износа деталей.*

Ключевые слова*: электроконтактная приварка ленты, глубина зоны термического влияния, теплосодержание, пятна нагрева, импульс источника тока.*

Для цитирования*: Фархшатов М.Н., Масягутов Р.Ф. Расчет температур в зоне контакта при электроконтактной приварке ленты в импульсном режиме источника тока // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 174-180*

CALCULATION OF TEMPERATURES IN THE CONTACT ZONE DURING ELECTRIC CONTACT TAPE WELDING IN THE PULSE MODE OF CURRENT SOURCE

Mars N. Farkhshatov, Dr. Sc. (Eng.), professor of the department;
Rivaz F. Masyagutov, assistant professor
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. *The temperature mode in the contact zone during the restoration of parts by electrocontact welding of steel tape has been studied when the current source operates in the pulse mode. The temperature in the contact zone is influenced by more than 15 factors; its value depends on the quality of the welded layer, in particular, the weldability (adhesion) of the tape to the base and the structural transformations in the tape and in the base. (Research purpose) The research purpose is development of a method for calculating the temperature in the contact zone of the roller-electrode-recoverable part in the electrocontact welding of steel tape in the pulse mode of current supply. (Materials and methods) The traditional circuit of electro-contact welding of steel tape as the design circuit has been adopted to determine the temperature in the contact zone. It has been decided to perform this task on the appropriate mathematical models. (Results and discussion) It was determined at the given parameters that in the uneven depth of the welded layer, the temperature is higher near the heat source and on the surface of the restored part. It was revealed that the temperature is distributed along the width of the roller-electrode according to the normal linear law. Authors proved that the temperature distribution in the contact zone of the roller-electrode depends on the conditional radius of the heating spot and the width of the working surface by calculation methods. (Conclusions) The changes in the nature of heat distribution in the contact zone when changing the width of the working surface of the roller-electrode has been calculated. The temperature is evenly distributed over the width of the working surface of the roller electrode, the optimal heating depth is provided at the width of the working surface of 4 and 6 millimeters. However, with its width of 4 millimeters, there is a high probability of rapid wear of parts.*

Keywords: *electric contact tape welding, depth of the heat affected zone, enthalpy, heating spots, pulse mode of the current source.*

For citation: *Farkhshatov M.N., Masyagutov R.F. Raschet temperatur v zone kontakta pri elektrokontaktnoy privarke lenty v impul'snom rezhime istochnika toka [Calculation of temperatures in the contact zone during electric contact tape welding in the pulse mode of current source]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 174-180 (In Russian).*

Введение. При восстановлении изношенных деталей машин электроконтактной приваркой стальной ленты в зоне контакта ролика-электрода с поверхностью восстанавливаемой детали необходимо добиться определенного температурного баланса, который зависит от многих факторов. Прежде всего, это технологические режимы приварки ленты (сила тока, время прохождения тока, давление на ролики-электроды, скорость приварки) площадь контакта ролика-электрода с деталью, теплофизические свойства материала ленты и так далее. Необходимое количество тепловыделения в зоне контакта важно, прежде всего, для обеспечения прочности сцепления привариваемой ленты с поверхностью восстанавливаемой детали [1, 2]. Во-вторых, одно из преимуществ

электроконтактной приварки стальной ленты (ЭКПЛ) – это закалка присадочного материала в процессе приварки [3, 4]. Поэтому теоретические расчеты по определению температуры в зоне контакта при ЭКПЛ весьма актуальны.

Цель исследования – разработать методику для расчета температуры в зоне контакта ролик-электрод – восстанавливаемая деталь при ЭКПЛ в импульсном режиме подачи тока.

Материалы и методы. Использовали наиболее широко применяемую схему для восстановления изношенных деталей ЭКПЛ с одним роликом-электродом для крупногабаритных деталей (*рис. 1*) [5]. При исследованиях применили изготовленный из берилловой бронзы наиболее износостойкий при ЭКПЛ ролик-электрод с разной шириной рабочей поверхности [6, 7].

Результаты и обсуждение. Распределение теплоты в результате приложения импульса при электроконтактной приварке по рассматриваемой схеме происходит в области контакта двух цилиндров с параллельными осями (*рис. 1*).

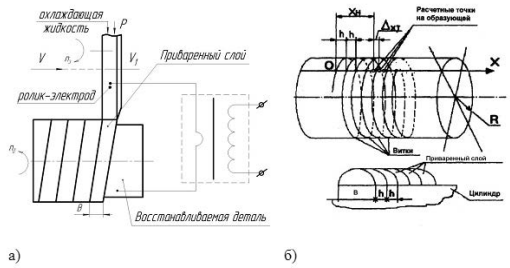


Рис. 1. Схемы ЭКП для расчета распределения поля температур:
а – технологическая; б – расчетная

Цилиндр большего радиуса – токонесущий ролик, цилиндр меньшего радиуса – наплавляемая деталь. Естественно при этом, что распределение теплосодержания металла *h* после внесения теплоты оказывается неравномерным: теплота вдоль линии контакта, совпадающей по направлению с осью *X*, распределена более равномерно, чем в направлениях двух других осей. Это обстоятельство необходимо учитывать, когда решается задача о распределении температур вблизи поверхности наплавляемого цилиндра, т.е. вблизи источника теплоты. При оценке глубины зоны термического влияния, необходимо рассчитать температуры именно вблизи поверхности.

Расчетная схема может быть использована для описания поля температур при вышеописанном способе нагрева кругового цилиндра (*рис. 1*). При этом рассмотрен случай, когда тепловой импульс в объеме металла, прилегающем к точке приложения источника, обеспечивает распределение теплосодержания металла по закону, близкому к закону нормально-линейного источника. Характер такого распределения показан на *рисунке 2*. Под относительным теплосодержанием здесь подразумевается безразмерная величина отношения теплосодержания в произвольной точке к максимальному теплосодержанию на оси источника. На *рисунке 2* показана длина базы *B*, на которой источник практически оказывается нормально-линейным (понятие о таком источнике введено в работах [5, 6]). Численно этот размер совпадает с шириной токонесущего ролика в месте контакта с цилиндром.

Численно этот размер совпадает с шириной токонесущего ролика в месте контакта с цилиндром.

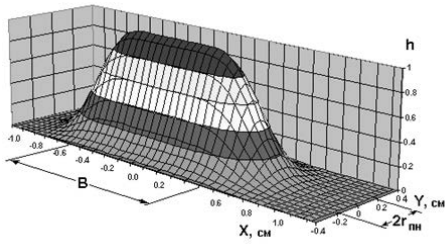


Рис. 2. Распределение относительного теплосодержания в металле цилиндра после приложения теплового импульса

При описании распределения теплоты источника (и при вводе исходных данных в персональный компьютер) использовали величину $r_{пн} = D_{пн}/2$ – условный радиус пятна нагрева, численно равный расстоянию, на котором теплосодержание составляет половину от его максимального значения. На *рисунке 2* этот размер тоже показан. Заметим, что распределение теплосодержания металла вдоль осей Y и Z практически совпадают. На *рисунках 3, 4* дано распределение $h(x,y)$ для некоторых случаев распределения теплосодержания, использованных ниже при проведении расчетных исследований. Представленные на *рисунке 3* случаи распределения отличаются длиной базы B и дают представление об изменении характера распределения h при изменении ширины токонесущего ролика (размер B указан вверху на каждом рисунке). На *рисунке 4* распределение относительного теплосодержания h показано для случаев, рассчитанных применительно к различным значениям $r_{пн}$ при B = 10 мм. Из рисунка видно, что при уменьшении значения $r_{пн}$ увеличивается концентрация распределения теплоты.

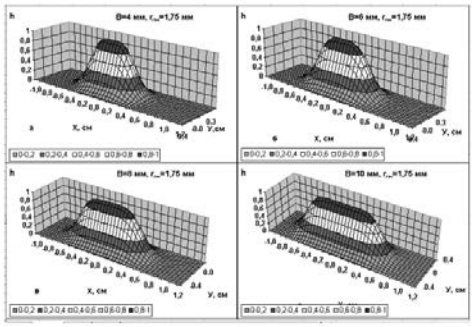


Рис. 3. Распределение относительного теплосодержания в зависимости от ширины ролика и условного теплонагрева

На этом же рисунке показаны линии уровня рассматриваемых распределений $h(x,y)$. Здесь наглядно видно, что на базе, практически совпадающей с размером B, теплота распределена одинаково вдоль оси Y. На краях области тепловыделения характер распределения теплоты практически совпадает с таковым при действии нормально кругового источника [5]. Влияние параметра распределения $r_{пм}$ также хорошо заметно при сопоставлении *рисунков 4а* и *4б.*

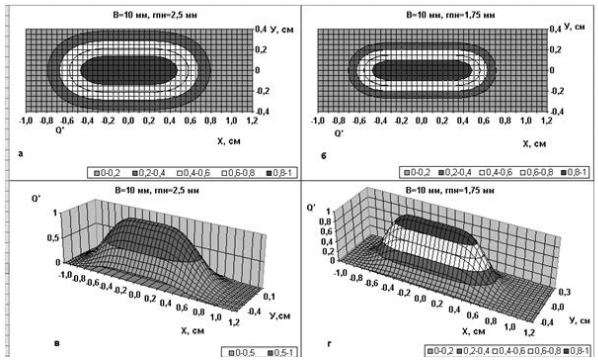


Рис. 4. Распределение относительного теплосодержания в зависимости от ширины ролика и условного теплонагрева

Выше отметили, что распределение теплосодержания по осям Y и Z практически одинаково и что «половинные» значения теплосодержания по глубине металла (от поверхности) соответствуют значениям $z = r_{пм}$. Однако при экспоненциальном законе распределения $h(z)$ половина общего количества теплоты, вносимой источником, должна содержаться в металле на меньшей глубине $Z_{05Q} < r_{пм}$. Соотношение между величинами Z_{05Q} и $r_{пн}$ показано на *рисунке 5*. Например, при размерах $D_{пн} = 2r_{пн} = 3{,}5$ мм (0,35 см) половина всей теплоты, выделенной в результате импульса источника, находится в пределах слоя толщиной $Z_{05Q} = 1{,}375$ мм, что представляется достаточно вероятным. (При $D_{пн} = 2{,}5$ мм $Z_{05Q} = 0{,}98$ мм).

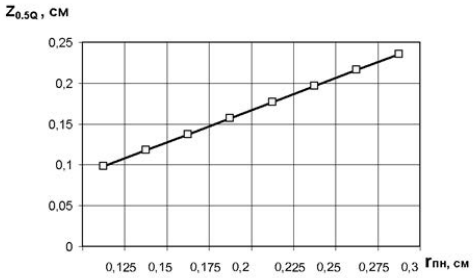


Рис. 5. Соотношение радиуса условного пятна нагрева $r_{пн}$ и величины Z_{05Q}

При выполнении электроконтактной приварки с использованием токонесущих роликов различного диаметра распределение теплоты, вносимой в металл детали, будет различным, о чем свидетельствуют результаты экспериментов [7-10]. При этом увеличение вышеназванной величины $D_{ПН}$, характеризующей распределение теплосодержания металла после импульса, должно соответствовать увеличению диаметра токонесущего ролика. Ибо увеличение диаметра ролика уменьшает суммарный радиус кривизны контактирующих поверхностей и соответственно увеличивает площадь пятна их контакта в условиях взаимной деформации.

О характере вышеназванного соответствия можно судить по результатам описанных ниже расчетных исследований. Для расчета температур использовали такие понятия, как коэффициент сосредоточенности источника k и константа времени t_0, характеризующая время фиктивной фазы перераспределения температур при тепловыделении распределенного источника по сравнению с сосредоточенным (точечным) источником.

Соотношение между этими величинами и диаметром условного пятна нагрева имеет вид:

$$t_0 = \frac{1}{4ak},$$

где a – коэффициент температуропроводности металла (остальные обозначения выше в тексте);

$$2r_{ПН} = D_{ПН} = 2\sqrt{\frac{-\ln(0,5)}{k}} \text{ и } k = -\frac{4\ln(0,5)}{D^2{}_{ПН}}.$$

Выводы. При ЭКПЛ в импульсном режиме источника тока температура в пятне контакта носит нормально-линейный характер. Расчетным путем доказаны изменения характера распределения тепла в зоне контакта при изменении ширины рабочей поверхности ролика-электрода.

Вышеизложенные расчеты позволяют констатировать, что увеличение диаметра ролика-электрода уменьшает суммарный радиус кривизны контакта с поверхностью восстанавливаемой детали. Это должно учитываться при подборе технологических режимов, в частности, величины тока и времени его прохождения (длительность импульса), а также размеры ролика-электрода.

Библиографический список

1. Фархшатов М.Н., Юферов К.В. Прочность сцепления покрытий, полученных электроконтактной приваркой ленты из высокоуглеродистой инструментальной стали // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 116. С. 87-90.

2. Фархшатов М.Н., Юферов К.В. Влияние режимов электроконтактной приварки высокоуглеродистой стальной ленты на качество металлопокрытия восстановленных деталей // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXII Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2013». Уфа: Башкирский ГАУ. 2013. С. 390-393.

3. Серов А.В., Бурак П.И. Применение электроконтактной приварки углеродистой стальной ленты для повышения ресурса деталей сельскохозяйственных машин // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 243-248.

4. Gabitov I.I., Saifullin R., Farkhshatov M.N., Yunusbayev N., Pavlov A.P., Gaskarov I., Fayurshin A., Kunafin A., Islamov L., Masyagutov R. Distribution of temperature on the depth of restorable details at electrocontact welding of a steel tape. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. Vol. 10. N1. 2496-2511.

5. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р. Опыт восстановления изношенных деталей электроконтактной приваркой стальной ленты // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С. 166-167.

6. Латыпов Р.А., Булычев В.В., Бурак П.И., Агеев Е.В. Электроконтактная приварка. М.: Университетская книга. 2016. 391 с.

7. Горохова М.Н., Чуриков Д.Г., Фомин А.И. Износ сварочных роликов при электроконтактной приварке // Труды ГОСНИТИ. Т. 109. N2. 2012. С. 12-17.

8. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз. 1951. 297 с.

9. Прохоров Н.Н. Расчет поля температур в приповерхностном объеме металла при электроконтактной наплавке (приварке) кругового цилиндра по спирали малого шага // Сборник трудов МГВМИ. 2007. 323 с.

10. Латыпов Р.А., Прохоров Н.Н., Бахмудкадиев Н.Д. Оценка температурно-

го поля при электроконтактной приварке порошковых материалов. М.: АОЗИ «АВС» – ВНИИТУВИД «Ремдеталь». 1998. С. 62-64.

References

1. Farkhshatov M.N., Yuferov K.V. Prochnost' stsepleniya pokrytiy, poluchennykh elektrokontaktnoy privarkoy lenty iz vysokouglerodistoy instrumental'noy stali [Adhesion strength of coatings obtained by electro-contact welding of high-carbon tool steel tape]. Trudy GOSNITI. 2014. Vol. 116. 87-90 (In Russian).

2. Farkhshatov M.N., Yuferov K.V. Vliyaniye rezhimov elektrokontaktnoy privarki vysokouglerodistoy stal'noy lenty na kachestvo metallopokrytiya vosstanovlennykh detaley [Influence of modes of electrocontact welding of a high-carbon steel tape on quality of a metal covering of the restored details]. Integratsiya nauki i praktiki kak mekhanizm effektivnogo razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh XXII Mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavki «AgroKompleks-2013». Ufa: Bashkirskiy GAU. 2013. 390-393 (In Russian).

3. Serov A.V., Burak P.I. Primeneniye elektrokontaktnoy privarki uglerodistoy stal'noy lenty dlya povysheniya resursa detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin [Application of electric contact welding of carbon steel tape to increase the life of agricultural machinery parts]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 125. 243-248 (In Russian).

4. Gabitov I.I., Saifullin R., Farkhshatov M.N., Yunusbayev N., Pavlov A.P., Gaskarov I., Fayurshin A., Kunafin A., Islamov L., Masyagutov R. Distribution of temperature on the depth of restorable details at electrocontact welding of a steel tape. International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. Vol. 10. N1. 2496-2511.

5. Sayfullin R.N., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R. Opyt vosstanovleniya iznoshennykh detaley elektrokontaktnoy privarkoy stal'noy lenty [Experience in restoration of worn parts by electric contact welding of steel tape]. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 125. 166-167 (In Russian).

6. Latypov R.A., Bulychev V.V., Burak P.I., Ageyev E.V. Elektrokontaktnaya privarka [Electric contact welding]. Moscow: Universitetskaya kniga. 2016. 391 (In Russian).

7. Gorokhova M.N., Churikov D.G., Fomin A.I. Iznos svarochnykh rolikov pri elektrokontaktnoy privarke [Wear of welding rollers during electric contact welding]. Trudy GOSNITI. Vol. 109. N2. 2012. 12-17 (In Russian).

8. Rykalin N.N. Raschety teplovykh protsessov pri svarke [Calculations of thermal processes in welding]. Moscow: Mashgiz. 1951. 297 (In Russian).

9. Prokhorov N.N. Raschet polya temperatur v pripoverkhnostnom ob"yeme metalla pri elektrokontaktnoy naplavke (privarke) krugovogo tsilindra po spirali malogo shaga [Calculation of the temperature field in the near-surface volume of metal during electrocontact surfacing (welding) of a circular cylinder in a small step spiral]. Sbornik trudov MGVMI. 2007. 323 (In Russian).

10. Latypov R.A., Prokhorov N.N., Bakhmudkadiyev N.D. Otsenka temperaturnogo polya pri elektrokontaktnoy privarke poroshkovykh materialov [Estimation of temperature field at electrocontact welding of powder materials]. Moscow: AOZI «AVS» – VNIITUVID «Remdetal'». 1998. 62-64 (In Russian).

УДК 621.792

О ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ ИЗ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА МЕТОДОМ ПОЛИМЕРНОГО ОКРАШИВАНИЯ

Сергей Иванович Старовойтов[1], доктор технических наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: starovoitovsi@mail.ru;
Елена Анатольевна Улюкина[2], доктор технических наук, доцент;
Бадри Хутаевич Ахалая[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Виталий Евгеньевич Коноплев[2], кандидат химических наук, доцент;
Сергей Андреевич Квас[1], аспирант
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2]Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

Реферат. *Сверхвысокомолекулярный полиэтилен можно использовать в виде покрытия или изделия, целиком выполненного из данного материала. Формируют покрытие футеровкой, газопламенным напылением или методом полимерного окрашивания. Метод полимерного окрашивания с учетом минимизации температурного воздействия на порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена получает наибольшее распространение при формировании покрытий. (Цель исследования) Уточнить влияние концентрации порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена в растворе ортоксилола на формирование покрытия на отвале плужного корпуса; определить толщину и прочность сформированного покрытия. (Материалы и методы) Исследовали 3-5 процентную концентрацию порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена* ticona GUR 2112 *в ортоксилоле. Проводили обработку поверхности образцов ортофосфорной и пропионовой кислотой. Осуществили нагрев раствора при непрерывном помешивании в диапазоне температур 20-120 градусов Цельсия в вытяжном шкафу; при достижении температуры 120 градусов Цельсия покрытие на образцы наносили методом окунания. Определили адгезию покрытия с помощью тестера адгезии* Elcometer 107 *методом поперечных насечек. (Результаты и обсуждение) Установили, что пленка из сверхвысокомолекулярного полиэтилена сформировалась только при пятипроцентной концентрации порошка и ортоксилола. Выявили, что пленка на поверхности металла была несплошной; края насечек полностью гладкие и ни один из квадратов сетки не отклеен. Величина адгезии относится к нулевому (наивысшему) классу. (Выводы) На процесс формирования покрытия методом полимерного окрашивания существенное влияние оказала пятипроцентная концентрация порошка в ортоксилоле. Особое внимание при подготовке раствора необходимо уделить процессу перемешивания и нагрева. Недостаточная толщина пленки не позволит эксплуатировать рабочие органы с покрытием из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в особо жестких условиях, в частности, при обработке почвы.*

Ключевые слова: *сверхвысокомолекулярный полиэтилен, отвал плужного корпуса, футеровка, газопламенное напыление, метод полимерного окрашивания.*

Для цитирования: *Старовойтов С.И., Улюкина Е.А., Ахалая Б.Х., Коноплев В.Е., Квас С.А. О формировании покрытия из сверхвысокомолекулярного полиэтилена методом полимерного окрашивания // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 181-186.*

FORMATION OF A COATING FROM ULTRAHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE BY POLYMER PAINTING

Sergey I. Starovoytov[1], Dr. Sc. (Eng.), leading researcher;
Elena A. Ulyukina[2], Dr. Sc. (Eng.), associate professor;
Badri H. Akhalaya[1], PhD (Eng.), leading researcher;
Vitaliy E. Konoplev[2], PhD (Chem.), associate professor;
Sergey A. Kvas[1], postgraduate;
[1] Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2]Russian state agrarian University-MSHA named after K. A. Timiryazev

Abstract*. Ultrahigh molecular weight polyethylene can be used as a coating or a product entirely made of this material. The coating is formed by lining, flame spraying or polymer staining. The method of polymer staining is most common in the formation of coatings taking into account the minimization of the temperature effect on the powder of ultrahigh molecular weight polyethylene. (Research purpose) The research purpose is to clarify the effect of concentration of ultrahigh molecular weight polyethylene powder in ortoxylene solution on the formation of coating on the plow body blade; to determine the thickness and strength of the formed coating. (Materials and methods) The 3-5 percent concentration of Ticona GUR 2112 ultrahigh molecular weight polyethylene powder in orthoxylene was studied. The surface of the samples was treated with orthophosphoric and propionic acid. The solution was heated with continuous stirring in the temperature range of 20-120 degrees Celsius in the fume hood; when the temperature reached 120 degrees Celsius, the coating was applied to the samples by dipping. The adhesion of the coating was determined using the adhesion tester Elcometer 107 by the method of transverse notches. (Results and discussion) It was found that a film of ultrahigh molecular weight polyethylene formed only at a five percent concentration of powder and orthoxylene. It has been revealed that the film on the surface of the metal was discontinuous; the edges of the notches are completely smooth and none of the squares of the grid is not peeled off. The adhesion value belongs to the zero (highest) class. (Conclusions) The process of coating formation by polymer staining was significantly influenced by the five percent concentration of the powder in orthoxylene. Special attention should be paid to the process of mixing and heating when preparing the solution. Insufficient thickness of the film will not allow operating the working parts coated with ultrahigh molecular weight polyethylene in particularly harsh conditions, in particular, during soil treatment.*

Keywords: *ultrahigh molecular weight polyethylene, plough body blade, lining, gas-flame spraying, polymer shading method.*

For citation: *Starovoytov S.I., Ulyukina E.A., Akhalaya B.Kh., Konoplev V.E., Kvas S.A. O formirovanii pokrytiya iz sverkhvysokomoleku-lyarnogo polietilena metodom polimernogo okrashivaniya [Formation of a coating from ultrahigh molecular weight polyethylene by polymer painting]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 181-186(In Russian).*

Введение. Функционирование практически любой технической системы предполагает прохождение следующих этапов: становление системы и ее совершенствование, динамизация и ее саморазвитие. Целью совершенствования элементов системы служит снижение энергоемкости и металлоемкости, повышение надежности и универсальности, простота конструкции. Снижение энергоемкости возможно за счет уменьшения коэффициента внешнего трения при скольжении почвенного пласта по сложной пространственной поверхности, изготовленной из конструкционных материалов на основе синтетических полимеров [1-5]. Одним из перспективных полимерных конструкционных материалов становится сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), обладающий молекулярной массой более $1{,}5\times10^6$. В настоящее время мировое производство порошка СВМПЭ приближается к 200 тыс. т/год. Основными производителями являются Германия, Голландия, Япония [6-8]. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен обладает исключительной ударопрочностью и долговечностью. Так, СВМПЭ при нормальных температурах примерно в семь раз превосходит фторопласт по стойкости к ударным воздействиям. СВМПЭ имеет хорошие антифрикционные свойства, близкие к свойствам фторопласта-42 и полиамида П-68, применяемых в качестве антифрикционных материалов. Коэффициент трения СВМПЭ также равен коэффициенту трения фторопласта и полиамида. Износостойкость СВМПЭ в двое превышает износостойкость остальных марок полиэтилена низкого давления. При введении твердых смазок, например, графита, в количестве примерно 0,5% износостойкость увеличивается в 2 раза и приближается к износостойкости стали (36,4 мин/мм^3). Также у СВМПЭ наблюдается повышенная стойкость к абразивному износу. Этот показатель для СВМПЭ в 3 раза выше, чем у фторопласта-4, и в 5 раз выше, чем у капролона [9]. СВМПЭ обладает более широким температурным интервалом эксплуатации. Материал при нагревании переходит в высокоэластичное состояние, что приводит к увеличению коэффициента вязкости и повышению модуля упругости расплава. Путем введения добавок проводят модификацию полимера с целью улучшить характерные для материала свойства.

Использовать СВМПЭ можно в виде покрытия или изделия, целиком выполненного из этого материала. Формируют покрытие футеровкой, газопламенным напылением или методом полимерного окрашивания. Газопламенное напыление относится к высокоэнергетическому воздействию, что может привести к частичной деструкции материала. Таким образом, метод полимерного окрашивания с учетом минимизации температурного воздействия на порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена получает наибольшее распространение при формировании покрытий. Л.А. Леонова провела исследования процесса растворения СВМПЭ для дальнейшего использование его раствора при формировании биоактивного композиционного покрытия [10]. Эксперименты по растворению порошка СВМПЭ органическими растворителями (ацетон, гексан, четыреххлористый углерод, ксилол, диметилформамид, декалин, демитилсульфоксид) проводили при

непрерывном перемешивании и медленном нагревании от 20 до 120 °С. Установили, что данный материал эффективно растворяется в ортоксилоле (о-ксилол) в диапазоне концентраций 0,5-5 объема %. При этом оценочная величина адгезионной прочности полученных покрытий составила 32 МПа.

Цель исследования – уточнить влияние концентрации порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена в растворе ортоксилола на формирование покрытия на отвале плужного корпуса; определить толщину и прочность сформированного покрытия.

Материалы и методы. Опыт проводили в два этапа. На первом этапе применяли 5% концентрацию порошка СВМПЭ в о-ксилоле. Марка СВМПЭ – ticona GUR 2112. Обработку поверхности образцов осуществляли ортофосфорной кислотой H_3PO_4. Нагрев раствора выполняли при непрерывном помешивании в диапазоне температур 20-120ºС в вытяжном шкафу. При достижении температуры 120 ºС покрытие наносили на образцы методом окунания. На втором этапе использовали 3% концентрацию порошка СВМПЭ в о-ксилоле. Поверхности образцов обрабатывали пропионовой кислотой CH_3CH_2CO-OH. Факт формирования покрытия определяли на электронном оптическом микроскопе OLYMPUSGX51 (*рис. 1, а*).

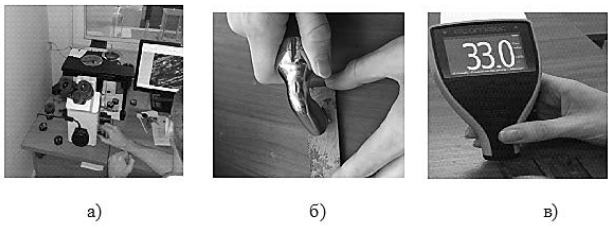


Рис. 1. Применяемое оборудование: а – электронный оптический микроскоп OLYMPUSGX51; б – тестер адгезии Elcometer 107; в – прибор Elcometer 456

Адгезию покрытия определяли с помощью тестера адгезии Elcometer 107 методом поперечных насечек (*рис. 1, б*). Насечки наносили специальным режущим элементом. Толщину покрытия определяли с помощью прибора Elcometer 456 (*рис. 1, в*). Данный прибор позволяет измерять толщину покрытия как на магнитных, так и на немагнитных основаниях при различных условиях доступа к поверхности объекта контроля.

Результаты и обсуждение. Пленка из сверхвысокомолекулярного полиэтилена сформировалась только на одном этапе при 5% концентации СВМПЭ и ортоксилола. Пленка на поверхности металла была несплошной (*рис. 2*).

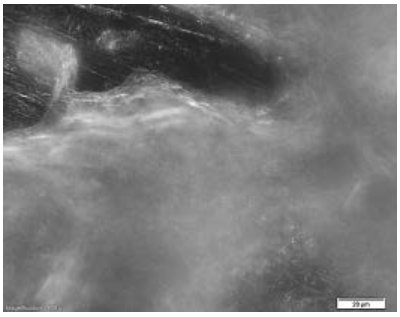


Рис. 2. Формирование пленки из СВМПЭ

Пленка с толщиной 33 и 42 мкм была сформирована только у первого и второго образцов. Это обстоятельство мы связываем с неоднородностью состава, полученного при ручном перемешивании порошка СВМПЭ и ортоксилола. Влияние микронеровностей на толщину покрытия не выявили. Метод поперечных насечек показал, что края насечек полностью гладкие и ни один из квадратов сетки не отклеен. Таким образом, величина адгезии относится к нулевому классу, то есть наивысшему.

Выводы. На процесс формирования покрытия методом полимерного окрашивания существенное влияние оказала 5% концентрация порошка СВМПЭ в о-ксилоле. Особое внимание при подготовке раствора необходимо уделить процессу перемешивания и нагрева. Целесообразно повторить опыт с 4, 5, 6% концентрацией порошка с учетом обработки поверхности органической кислотой. Недостаточная толщина пленки не позволит эксплуатировать рабочие органы с покрытием из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в особо жестких условиях, в частности при обработке почвы. Имеет смысл наносить пленку методом полимерного окрашивания на зерноочистительные решета.

Библиографический список

1. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Теплостойкие антифрикционные текстолиты // Труды ВИАМ. 2014. N11. С. 10-13.

2. Антибас И.Р., Дьяченко А.Г. Определение характеристик компонентов композитных материалов, предназначенных для производства деталей сельскохозяйственной техники // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. N3(90). С. 60-69.

3. Андрейчикова Г.Е., Токарев С.С., Костиков Ю.А., Павлов В.Ю., Терновский В.В., Терновсков В.Б. Отечественные альтернативы зарубежных разработок по фторопластсодержащим покрытиям // XI Международная научно-практическая конференция «Современные технологии» 2017. С. 26-28.

4. Николаева О.А., Зенитова Л.А., Бакирова И.Н., Абдуллин И.Ш. Полиацеталь – полимер будущего // Бутлеровские сообщения. 2014. N3. С. 1-6.

5. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Кондрашов Э.К. Покрытия из порошковых фторопластов // Пластические массы. 2013. N1. С. 5-8.

6. Галибеев С.С., Хайруллин Р.З., Архиреев В.П. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен. Тенденции и перспективы // Вестник Казанского технологического университета. 2008. N2. С. 50-55.

7. Московский М.Н. Изучение свойств СВМПЭ при изготовлении на их основе рабочих органов почвообрабатывающих машин // Инженерный вестник Дона. 2014. N1. С. 45-46.

8. Селютин Г.Е., Гаврилов Ю.Ю., Восресенская Е.Н., Захаров В.А., Никитин В.Е., Полубояров В.А. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. N18. С. 375-388.

9. Czichos H., Becker S., Lexow J. Multilaboratory tribotesting: results from the Versailles-advanced-materials-and-standards-program on wear test methods. Wear. 1987. Vol. 114. 109-130.

10. Леонова Л.А. Синтез гидроксиапатита и формирование биоактивных покрытий из композиционных материалов на его основе и сверхвысокомолекулярного полиэтилена на титане: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук. Томск. 2010. 21 с.

References

1. Davydova I.F., Kavun N.S. Teplostoykiye antifriktsionnyye tekstolity [Heat-resistant antifriction textolite]. Trudy VIAM. 2014. N11. 10-13 (In Russian).

2. Antibas I.R., D'yachenko A.G. Opredeleniye kharakteristik komponentov kompozit-nykh materialov, prednaznachennykh dlya proizvodstva detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Determination of characteristics of composite materials components intended for production of details of agricultural machinery]. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. N3(90). 60-69 (In Russian).

3. Andreychikova G.E., Tokarev S.S., Kostikov YU.A., Pavlov V.Yu., Ternovskiy V.V., Ternovskov V.B. Otechestvennyye al'ternativy zarubezh-nykh razrabotok po ftoroplastsoderzhashchim pokrytiyam [Domestic alternatives to foreign developments on fluoroplastic coatings]. XI Mezhduna-rodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennyye tekhnologii» 2017. 26-28 (In Russian).

4. Nikolayeva O.A., Zenitova L.A., Bakirova I.N., Abdullin I.Sh. Poliatsetal' – polimer budushchego [Polyacetal is a polymer of the future]. Butlerovskiye soobshcheniya. 2014. N3. 1-6 (In Russian).

5. Beyder E.Ya., Petrova G.N., Kondrashov E.K. Pokrytiya iz poroshkovykh ftoroplastov [Coatings of powder fluoroplastics]. Plasticheskiye massy. 2013. N1. 5-8 (In Russian).

6. Galibeyev S.S., Khayrullin R.Z., Arkhireyev V.P. Sverkhvysokomole-kulyarnyy polietilen. Tendentsii i perspektivy [Ultrahigh molecular weight polyethylene. Trends and prospects]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2008. N2. 50-55 (In Russian).

7. Moskovskiy M.N. Izucheniye svoystv SVMPE pri izgotovlenii na ikh osnove rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [The study of UHMWPE properties in the manufacture of working parts of tillage machines on their basis]. Inzhenernyy vestnik Dona. 2014. N1. 45-46 (In Russian).

8. Selyutin G.E., Gavrilov Yu.Yu., Vosresenskaya E.N., Zakharov V.A., Nikitin V.E., Poluboyarov V.A. Kompozitsionnyye materialy na osnove sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya [Composite materials based on ultrahigh-molecular polyethylene: properties, prospects of use]. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 2010. N18. 375-388 (In Russian).

9. Czichos H., Becker S., Lexow J. Multilaboratory tribotesting: results from the Versailles-advanced-materials-and-standards-program on wear test methods. Wear. 1987. Vol. 114. 109-130.

10. Leonova L.A. Sintez gidroksiapatita i formirovaniye bioaktiv-nykh pokrytiy iz kompozitsionnykh materialov na ego osnove i sverkhvyso-komolekulyarnogo polietilena na titane: avtoref. na soisk. uchenoy step. kand. tekhn. Nauk [Synthesis of hydroxyapatite and formation of bioactive coatings from composite materials based on it and ultrahigh molecular weight polyethylene on titanium: abstr. on competition of a scientific degree of cand. of tech. sciences]. Tomsk. 2010. 21 (In Russian).

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 629.3016.8

ОТ «ФОРДЗОНА» К «ФОРМОЛУ»

Андрей Владимирович Карасев, кандидат технических наук,
научный сотрудник Института истории естествознания и техники
им. С.И. Вавилова Российской академии наук,
e-mail: andrey.karasev@nami.ru
Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный
институт, Москва, Российская Федерация

Реферат. *В начале 30-х годов прошлого века самым массовым отечественным трактором был «Фордзон-Путиловский» (ФП). Трактор Fordson для сельского хозяйства СССР оказался нерентабельным. В 1932 году его сняли с производства. (Цель исследования) Провести анализ сельскохозяйственных тракторов, выпускаемых отечественной промышленностью в начале 30-х годов; раскрыть причины появления новых моделей и их значение для сельского хозяйства страны. (Материалы и методы) Изучили библиографические источники исследуемого периода, современные работы отечественных и зарубежных историков техники. (Результаты и обсуждение) Выполнили испытания трактора Farmall и отечественных образцов пропашных тракторов. Определили, что Farmall –лучший. Поручили Автотракторному институту НАТИ создание трактора типа Farmall на базе узлов СХТЗ. Приняли решение о постановке на производство трактора этого типа на заводе «Красный Путиловец». Разработанный трактор оказался удачным. (Выводы) СССР, увеличив производство тракторов более чем в 10 раз до 49,786 тысяч штук в 1932 г., стал мировым лидером тракторостроения, так как производство в США упало до 40 тысяч штук. Разработанный НАТИ трактор «Универсал-1» по типу Farmall был поставлен на производство заводом «Красный Путиловец». Тракторы «Универсал-1» сыграли важную роль в отечественном сельском хозяйстве. Осенью 1934 г. прошли испытания первые 4-колесные тракторы «Универсал-2». Тракторы «Универсал» имели исключительно значение для увеличения клина пропашных культур в СССР и стали первыми советскими тракторами, экспортировавшимися за рубеж.*

Ключевые слова: *трактор, колесный трактор, пропашной трактор, «Фордзон-Путиловский», «Формол», универсальный трактор, «Универсал-1», «Универсал-2».*

Для цитирования: *Карасев А.В. От «Фордзона» к «Формолу» // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 188-194.*

FROM «FORDSON» TO «FARMALL»

Andrei V. Karasev, Ph.D.(Eng.), researcher of the Institute for the History of Science
and Technology named after S.I.Vavilov of Russian Academy of Sciences
Scientific and research automobile and automotive engine institute "NAMI",
Moscow, Russian Federation, e-mail: andrey.karasev@nami.ru

Abstract. *At the very beginning of the 30s of the last century, the Fordson-Putilovskiy was the most massive domestic tractor. «Fordson» tractor was unprofitable for agriculture of the USSR. In 1932 its production discontinued. (The research purpose) The research purpose is analyzing of agricultural tractors produced by the domestic industry in the early 30s; revealing the reasons for the appeareance of new models and their importance for the country's agriculture. (Materials and methods) We have studied bibliographic sources of the study period, modern works of domestic and foreign historians of technology. (Results and discussion) We have performed tests of Farmall tractor and domestic samples of row-crop tractors. The article proves that Farmall is the best. We have instructed the Automotive Institute NATI for creation of a Farmall-type tractor based on parts of SHTZ. It was decided to put on the production this type of tractor at the "Red Putilovets" plant. The designed tractor was successful. (Conclusion) The USSR, having increased tractor production by more than 10 times to 49,786 thousand units in 1932, became the world leader in tractor construction, as production in the United States fell to 40 thousand units. Developed by NATI, the "Universal-1" tractor based on Farmall type was put into production at the "Red Putilovets" plant. Tractors of "Universal-1" type played an important role in domestic agriculture. In the fall of 1934 the first 4-wheel tractors of "Universal-2" type were tested. "Universal" tractors were extremely important for increasing the wedge of row crops in the USSR and became the first Soviet tractors exported abroad.*

Keywords: *tractor, wheel tractor, row-crop tractor, "Fordzon-Putilovets", "Farmall", universal tractor, "Universal-1", "Universal-2".*

For citation: *Karasev A.V. Ot «Fordzona» k «Formolu» [From «Fordson» to «Farmall»]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 188-194.*

Введение. В начале 30-х годов прошлого века партией и правительством трудящимся СССР была дана отчетливая директива: «догнать и перегнать в технико-экономическом отношении капиталистические страны Европы и Америки уже на протяжении ближайших десяти лет». Основой экономики страны оставалось сельское хозяйство. В целях механизации сельскохозяйственных работ построили Сталинградский тракторный завод (СТЗ) для производства колесных тракторов типа International 15-30, достраивали Харьковский тракторный, на котором должны были начать выпуск гусеничного трактора типа Caterpillar 25/30, и Челябинский тракторный для выпуска тяжелых гусеничных тракторов типа Caterpillar 60. Колесные тракторы типа Fordson изготавливал бывший Путиловский завод.

Цель исследования – провести анализ сельскохозяйственных тракторов, выпускаемых отечественной промышленностью в начале 30-х годов; раскрыть причины появления новых моделей и их значение для сельского хозяйства страны.

Материалы и методы. Изучили библиографические источники исследуемого периода, современные работы отечественных и зарубежных историков техники. В начале 30-х годов прошлого века самым массовым отечественным трактором был «Фордзон-Путиловский» (ФП). Трактор ФП выпускали с 1924 г. на заводе «Красный Путиловец» по лицензии Ford Motor Company (модель Fordson-F). На базе колесного трактора ФП изготавливали тракторные тягачи. Была предпринята попытка приспособить двига-

тель трактора ФП для 16-футовых комбайнов, выпускаемых заводом «Коммунар» в г. Запорожье. Легкий трактор Fordson, разработанный для фермеров США, для коллективного сельского хозяйства оказался слаб и нерентабелен, как и тракторный тягач на его базе. Проблему создания более мощного тракторного тягача решил Автотракторный институт ВАТО (НАТИ) преобразованием трактора «Интернационал 15 30», выпуск которого начал СТЗ [1]. Предложенная НАТИ конструкция позволяла при необходимости путем обратной замены получать из тракторного тягача обычный трактор. Основные переделки трактора сводились к следующему: передок трактора был подрессорен, задние и передние ступицы заменены. К ступицам крепились автомобильные колеса.

Задние колеса трактора – стандартные, от тяжелого ярославского грузовика, передние также стандартные – от фордовского грузовика. Подвеску тягача НАТИ выполнили из фордовских частей (рессора, подушка и прочее). От стандартного трактора тягач НАТИ отличался повышенной скоростью. Она достигалась изменением одной пары шестерен в коробке передач. Тягач снабдили дополнительными тормозами. Трактор-тягач предназначался для буксировки двух или трех прицепов с полезным грузом 9400 кг. Собственная масса тягача составлял 3200 кг. Преобразовать сельскохозяйственный трактор в тягач можно было при наличии деталей в условиях МТС. После неудачной попытки приспособить для комбайнов двигатель трактора ФП, Наркомтяжпром поручил НАТИ разработать для этой цели двигатель ГАЗ-НАТИ (М-1) на базе фордовского автомобильного мотора. В силу указанных причин в 1932 г. трактор «Фордзон-Путиловский» сняли с производства. На освободившихся производственных площадях начали подготовку к производству легкового автомобиля высшего класса Л-1 по типу Buick. 1 мая 1933 г. завод должен был дать 10 первых опытных автомобилей, а к середине года наладить серийное производство [2].

Еще в 1925 г. на полях Северной Америки появились необычные тракторы-трициклы Farmall. Своим появлением слово Farmall обязано инженерам компании International Harvester (IH), занимающимся разработкой универсального трактора, способного заменить лошадь в каждой работе, включая культивирование [3]. Слово Farmall было образовано от слогана «farm all» (все для фермы) [4].

К 1923 г., после того как была выбрана компоновка трактора, рабочее название проекта Farmall утвердили официальным названием нового трактора [5]. Предложенный фермерам пропашной трактор имел сближенные передние колеса, большой дорожный просвет (75 см), быстро регулируемую колею задних колес, отличную обзорность вокруг и под машиной, небольшой вес, достаточную мощность для вспашки и боронования, приводной шкив и низкую стоимость. Двухрядный культиватор устанавливался спереди, что обеспечивало хорошую видимость с места оператора и точное управление. Таким образом, трактор Farmall был похож на Fordson по своим возможностям и доступности, но с лучшей способностью к культивированию почвы, поэтому его описывали как универсальный (general-purpose или all-purpose). Новая конфигурация универсального трактора несколько настораживала руководство компании, поэтому первоначально продажи начались только в Техасе, чтобы минимизировать потенциальный провал на рынке. Универсальность трактора оказала существенную поддержку механизации сельского хозяйства. Farmall стал настолько выгоден в полной за-

мене лошадей в сельском хозяйстве, что стал продуктом, успешно продаваемым на рынке: 1926 г. IH была готова к его крупномасштабному производству на своем новом заводе Farmall Works в Рок-Айленде, штат Иллинойс [6]. Производство тракторов росло до 1930 г., когда число изготовленной техники составило 42093 шт. [7]. Выпуск трактора прекращен в 1932 г. Тракторы для пропашных культур – сектор, который компания IH помогла создать и в котором долгое время занимала большую долю рынка. Название тракторов Farmall в развивающейся архитектуре бренда IH обычно указывалось как McCormick-Deering Farmall, а затем McCormick Farmall. В СССР фирму называли Мак-Кормик-Диринг-Интернэшонал (Международная Компания Жатвенных Машин). В США пропашные культуры занимали в то время 55% общей посевной площади. В СССР пропашные культуры составляли в 1933 г. около 17%, но в то же время отмечался усиленный рост пропашного клина [8]. На трактор Farmall мощностью 20 л. с. еще в 1928 г. (25 26 ноября) обратил внимание пленум жюри Всероссийского комитета по испытанию тракторов (ВКИТ). Испытания провели осенью 1927 г. на Северном Кавказе и на полях Донского института сельского хозяйства и мелиорации (совхоз «Персиановка»). В программу тестирования входили: лабораторная диагностика тракторов, которую проводил НАТИ; полевые испытания, выполненные Государственным институтом опытной агрономии; и испытания прицепного инвентаря, проведенные Северо-Кавказской краевой сельскохозяйственной опытной станцией. Пленум жюри ВКИТ счел возможным для районов с пропашными культурами (хлопок, кукуруза, подсолнух и другие) рекомендовать трактор Farmall для выписки из-за заграницы в ограниченном количестве [9]. Для возделывания пропашных культур в 1930 г. завод «Красный Путиловец» сделал попытку создания конструкции пропашного трактора путем приспособления своего трактора ФП. Примерно в то же время Всесоюзный институт механизации сельского хозяйства (ВИМ) и Северокавказский филиал Всесоюзного института сельскохозяйственного машиностроения занялись разработкой пропашного трактора на базе СХТЗ.

ВИМ предложил тип отечественного 3-колесного пропашного трактора – СХТЗ-ВИМЭ (28 декабря 1931 г. ВИМЭ разделен на два института (Приказ Наркомзема СССР № 003/893): Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) и Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (ВИМ), тем не менее наименование ВИМЭ встречается до 1934 г.). Трактор разрабатывал киевский филиал Научного автотракторного института ВАТО (НАТИ) под ВИЭМ. Также киевский филиал и тракторный отдел НАТИ в Москве срочно изготовили рабочие чертежи запасных частей для импортных тракторов [10]. Сотрудничество НАТИ с ВИМЭ Наркомзема не ограничивалось конструкторскими работами: провели совместное экспериментальное исследование по определению норм износа тракторов при надлежащей организации эксплуатации. Под руководством инженеров НАТИ М.А. Якоби и А.С. Балобанова испытания начали в 1931 г. с изучения износа деталей импортных тракторов «Интернационал», «Катерпиллер» и «Виллис» в трех различных хозяйствах. Затем работу продолжили в 1932 г. в организованном исследовательском отряде под руководством А.С. Балобанова.

Специальный исследовательский тракторный отряд был организован на основе постановления Совета труда и обороны (СТО) СССР. В качестве ба-

зы отряда выбрали Жердевскую МТС, расположенную вблизи станции «Жердевка» Юго-Восточной железной дороги на магистрали Москва – Грязи – Сталинград Воронежской области (в настоящее время – г. Жердевка Тамбовской обл.). МТС обслуживала соседние зерновые колхозы. Исследовательский тракторный отряд состоял из эксплуатационной, монтажной, микрометражной, испытательной и химической групп.

Отряд получил по 4 новых трактора СТЗ, ХТЗ и ФП. Поступившие машины разбирали и микрометрировали. После сборки проводили обкатку тракторов, регулировку двигателей и проверку на тормозном станке НАТИ. Затем трактор направляли на работу в поле. В СССР новейшие американские тракторы поставляли, в первую очередь, в опытно-учебный зерносовхоз № 2 в Ростовской области – один из первых гигантских зерносовхозов страны, получивший название «Верблюд» по наименованию расположенного вблизи разъезда. Здесь работали американские фермеры, приглашенные в СССР. В 1934 г. зерносовхоз провел полевые испытания дизельных тракторов: с 15 июля до 11 сентября тракторы (вначале их было 17, затем некоторые вышли из строя) вспахали свыше 5 тыс. гектаров, из них около 1 тыс. – паров, а остальные – вспашка стерни под зябь. Постановление СТО от 25 апреля 1933 г. обязывало Наркомат тяжелого машиностроения (НКТМ) выбрать тип пропашного трактора и организовать его производство с максимальным использованием действующих заводов. Испытания пропашников проводили в Средней Азии. Трактор Farmall испытывали совместно с конструкциями ВИМЭ, ВИСХОМа (Всесоюзного института сельскохозяйственной механики) и Омского Сибсельмаша им. Коминтерна. Первый трактор-пропашник Сибсельмаша изготовили 1 мая 1932 г. Четырехколесный трактор предназначался для обработки хлопковых культур. Президиум ВСНХ СССР постановлением № 7 передал тракторный отдел ВИСХОМа 25 марта 1930 г. в ведение НАМИ. Фактическая передача тракторного отдела ВИСХОМа НАМИ затянулась до конца 1931 г., так как НАМИ, ставший уже НАТИ, в этот период перемещался в Лихоборы, где велось строительство нового комплекса института. Пропашной трактор должен был быть легким, чтобы не нарушать водно-воздушного режима почвы [11]. Farmall весил 1913 кг, трактор СХТЗ-ВИМЭ – 3409 кг, а омский пропашник даже 3650 кг [12]. Пропашной трактор также должен иметь достаточно малый радиус поворота, чтобы в конце гона круто разворачиваться и направляться в следующую борозду; обладать хорошей боковой устойчивостью, чтобы не опрокидываться при работе на повороте.

Высокая маневренность трактора Farmall достигалась при помощи устройства, которое при крутых поворотах автоматически затормаживало одно из ведущих колес, вокруг которого мог быть произведен разворот трактора с радиусом дуги 2,48 м. При полевых испытаниях наиболее приемлемым пропашным трактором оказался Farmall-9/18. Этот трактор в основном оправдал себя в условиях СССР и был по целому ряду агрегатов схож с трактором СХТЗ. 8 августа 1933 г. комиссия Политбюро постановила организовать на заводе «Красный Путиловец» производство отечественных пропашных тракторов по типу модели Farmall. Приказом Наркома тяжелой промышленности Г.К. Орджоникидзе конструкторам НАТИ поручили разработку проекта отечественного пропашного трактора. Бригаду инженеров тракторного отдела НАТИ возглавил Д.А. Чудаков. Перед конструкторами стояла задача создать пропашной трактор, удовлетворяющий тре-

бованиям обработки основных пропашных культур СССР. Поэтому проектированию предшествовала большая работа по изучению агротехнических требований к новой машине. При разработке трактора конструкторы стремились максимальное количество узлов и деталей унифицировать с выпускаемыми колесными тракторами. Поэтому одновременно с проектированием под руководством инженера В.А. Тюляева проводили большую экспериментальную работу по проверке правомерности замены деталей. Инженер А.А. Крейслер создал шасси для проектируемого трактора [13]. Разработанный трактор «Универсал-1» соответствовал модели Формол МКЖМ. Трактор развивал тяговое усилие 300 900 кг. На пропашнике должны были установить карбюраторный керосиновый 4-цилиндровый двигатель мощностью 22 л. с. при 1200 об/мин. Трактор «Универсал-1» весил около 2 т. Полный проект трактора со всеми рабочими чертежами 7 сентября 1933 г. передали для разработки технологической документации заводу «Красный Путиловец». Первый трактор собрали 29 декабря в экспериментальном цехе. Предполагали выпустить пять опытных образцов тракторов первой серии. К 1 мая 1934 г. Ленинградский завод «Красный Путиловец» сумел выпустить первый пропашной трактор «Универсал-1». Осенью в Титусовсой МТС (Украина) прошли испытания первые 4-колесные тракторы «Универсал-2», которые предназначались для обработки низкостебельных пропашных культур: свеклы, картофеля и других (для свеклы IH предлагал трактор Farmall F12 с навесным культиватором, на легких колесах с баллонами, позволяющими ему работать по сырому грунту).Тракторы «Универсал» были первыми пропашными тракторами в СССР и имели исключительное значение для увеличения клина пропашных культур. Они стали первыми из советских тракторов экспортироваться за границу: в Голландию, Иран и Турцию.

Результаты и обсуждение. Тракторы для пропашных культур – сектор, который компания International Harvester помогла создать, выпустив в 1925 г. модель Farmall для полной замены лошадей на ферме. В СССР наиболее близкий к трактору Farmall по массогабаритным показателям трактор ФП был снят с производства как малоэффективный. Попытки создать отечественный пропашной трактор из трактора СХТЗ не были успешны. Автотракторному институту НАТИ поручили создание трактора типа Farmall на базе узлов СХТЗ, производство – заводу «Красный Путиловец», уже приступившему к постановке на производство легкового автомобиля высокого класса. Разработанный трактор оказался удачным.

Выводы . В 1929 г. заводы США выпустили 229 тыс. тракторов против 4,498 тыс. отечественных. Тем не менее СССР, увеличив производство тракторов более чем в 10 раз до 49,786 тыс. шт. в 1932 г., стал мировым лидером тракторостроения, тогда как производство в США упало до 40 тыс. шт. Трактор СХТЗ не мог стать базой для создания пропашного трактора, сравнимого с Farmall. Разработанный НАТИ трактор «Универсал-1» по типу Farmall, был поставлен на производство заводом «Красный Путиловец». Тракторы «Универсал-1» сыграли важную роль в отечественном сельском хозяйстве.

Библиографический список

1. *Карасев А.В. Хроника автомоторного института 1918-1946. Смоленск: Свиток. 2010. С. 82.*
2. *Советский Бюик // За трактор и автомобиль. 1933. N1.*
3. *Pripps Robert N. Morland A. Farmall Tractors: History of International McCormick-*

Deering Farmall Tractors, Farm Tractor Color History Series. Osceola. WI. USA. 1993. 34-37.

4. Ralph W. Sanders. Vintage Farm Tractors: The Ultimate Tribute to Classic Tractors. Town Square Books. 1996. 192.

5. Klancher Lee. Farmall Tractors. MBI. 1995. С. 36.

6. Pripps Robert N. International Harvester Tractor Buyer's Guide. Osceola. WI. USA: Motorbooks International. 1995. 46.

7. Klancher Lee. The Farmall Dynasty. Octane Press. 2008. 671.

8. Белявский Г.Н. Эксплуатационные качества тракторов-пропашников У-1 и У-2. Кировский завод // Автотракторное дело. 1936. N12. С. 385.

9. Рачков П. Результаты испытаний тракторов на Северном Кавказе // Мотор. 1928. N12. С. 212.

10. Зелинский Е.Л. Подшефный Автодору Научный автотракторный институт к началу 2-й пятилетки. Москва-Ленинград: Гострансиздат. 1933. 31 с.

11. Бельцов А. Об организации в СССР производства тракторов для пропашных культур // Автотракторное дело. 1930. N3-4. С. 14.

12. Кириндас А.М. Незолотая середина // Техника и вооружение. 2013. N9. С. 19-22.

13. Карасев А.В. Хроника автомоторного института 1918-1946. Смоленск: Свиток. 2010. С. 86.

References

1. Karasev A.V. Khronika avtomotornogo instituta 1918-1946 [Chronicle of the Motor Institute of 1918-1946]. Smolensk: Svitok. 2010. 82 (In Russian).

2. Sovetskiy Byuik [Soviet Buick]. Za traktor i avtomobil'. 1933. N1. (In Russian).

3. Pripps Robert N. Morland A. Farmall Tractors: History of International McCormick-Deering Farmall Tractors, Farm Tractor Color History Series. Osceola. WI. USA. 1993. 34-37.

4. Ralph W. Sanders. Vintage Farm Tractors: The Ultimate Tribute to Classic Tractors. Town Square Books. 1996. 192.

5. Klancher Lee. Farmall Tractors. MBI. 1995. S. 36.

6. Pripps Robert N. International Harvester Tractor Buyer's Guide. Osceola. WI. USA: Motorbooks International. 1995. 46.

7. Klancher Lee. The Farmall Dynasty. Octane Press. 2008. 671.

8. Belyavskiy G.N. Ekspluatatsionnyye kachestva traktorov-propashnikov U-1 i U-2. Kirovskiy zavod [Performance of row-crop tractors U-1 and U-2. Kirov factory]. Avtotraktornoye delo. 1936. N12. 385 (In Russian).

9. Rachkov P. Rezul'taty ispytaniy traktorov na Severnom Kavkaze [Tractor test results in the North Caucasus]. Motor. 1928. N12. 212 (In Russian).

10. Zelinskiy E.L. Podshefnyy Avtodoru Nauchnyy avtotraktornyy institut k nachalu 2-y pyatiletki [Sponsored by Avtodor the Scientific Automotive Institute to the beginning of the 2nd five-year plan]. Moskva-Leningrad: Gostransizdat. 1933. 31 (In Russian).

11. Bel'tsov A. Ob organizatsii v SSSR proizvodstva traktorov dlya propashnykh kul'tur [About the organization of production of tractors for row crops in the USSR]. Avtotraktornoye delo. 1930. N3-4. 14 (In Russian).

12. Kirindas A.M. Nezolotaya seredina [Not-golden mean].Tekhnika i vooruzheniye. 2013. N9. 19-22 (In Russian).

13. Karasev A.V. Khronika avtomotornogo instituta 1918-1946 [Chronicle of the Motor Institute of 1918-1946]. Smolensk: Svitok. 2010. S. 86.

УДК 621.78

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АПК

Валерий Игоревич Иванов, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Вячеслав Александрович Денисов, доктор технических наук
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Статья посвящена улучшению технологического обеспечения ремонтных и перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса России. (Цель исследования) Рассмотреть универсальный и эффективный метод нанесения покрытий на токопроводящие материалы – электроискровое легирование, развитие электроискровых технологий и оборудования для нужд агропромышленного комплекса. (Материалы и методы) Представили краткую характеристику данного метода и основные области его применения, показали эффективность метода электроискрового легирования в машиностроительном и ремонтном производстве. Привели этапы развития метода от его становления (1943-1961 годы) и устойчивого развития (1962-1991 годы) до этапа неуправляемого и неустойчивого развития после перехода от плановой формы хозяйствования к рыночной и до настоящего времени. Отметили значительную роль в развитии метода электроискрового легирования Академии наук Молдавской ССР, в последующем – ВНИИТУВИД «Ремдеталь» и ГОСНИТИ Россельхозакадемии, а также достигнутые результаты. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели положительный опыт кооперации академической и вузовской науки на примере научно-технического сотрудничества ГОСНИТИ и Мордовского госуниверситета им. Н.П. Огарева: на базе Института механики и энергетики университета создан и успешно функционирует Учебно-научно-производственный центр. Указанный Центр, созданный с привлечением молодых специалистов по инициативе и при активном участии доктора технических наук профессора Ф.Х. Бурумкулова, развивает электроискровые технологии для нужд ремонтных предприятий и внедряет их в производство. На его базе идет подготовка инженерно-технического персонала и специалистов высшей квалификации. (Выводы) Обозначили проблемы, препятствующие развитию метода электроискрового легирования, и предложили меры по улучшению использования его в агропромышленном комплексе.*

Ключевые слова: *электроискровое легирование, покрытие, восстановление изношенных деталей, оборудование, эффективность.*

Для цитирования: *Иванов В.И., Денисов В.А. Развитие электроискровых технологий и оборудования для АПК // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 195-204.*

DEVELOPMENT OF ELECTRIC SPARK TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR AIC

Valeriy I. Ivanov, Ph. D. (Eng.),
leading researcher, e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru
Vyacheslav A. Denisov, Dr. Sc. (Eng.),
Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *The article is devoted to improving the technological support of repair and processing enterprises of the agricultural sector of Russia. (Research purpose) The purpose of work is considering a universal and effective coating method for conductive materials, electric spark alloying, the development of electric spark technologies and equipment for the needs of the agroindustrial complex. (Materials and Methods) The article gives a brief description of this method and the main areas of its application, the effectiveness of electric spark alloying in engineering and repair production. The stages of the development of the method from its formation (1943-1961) and sustainable development (1962-1991) to the stage of uncontrolled and unstable develop-ment after the transition from the planned to the market form of management and to the present. We have noted a significant role in the development of the electric spark alloying method in the Academy of Sciences of the Moldavian SSR, and subsequently - VNIITUVID "Remdetal" and GOSNITI of the Russian Agricultural Academy and achieved results. (Results and discussion) The article notes the positive experience of the cooperation of academic and university science on the example of scientific and technical cooperation between GOSNITI and Mordovian State University named after N.P. Ogarev; based on the Institute of Mechanics and Energy of this university, a Training, Scientific and Production Center has been created and is successfully func-tioning. This Center, created with the involvement of young specialists on the initiative and with the active participation of Doctor of Technical Sciences, Professor F. Kh. Burumkulov (1936-2013), develops electric spark alloying technologies for the needs of repair production and implements them in production. There is a training of engineer-ing and technical personnel and highly qualified specialists on is base. (Conclusion) The article identifies problems of the development of the electric spark alloying method and proposes measures for improving its use in the agricultural sector.*

Keywords: *electric spark alloying, coating, restoration of worn parts, equipment, efficiency.*

For citation: *Ivanov V.I., Denisov V.A. Razvitiye elektroiskrovykh tekhnologiy i oborudovaniya dlya APK [Development of electric spark technologies and equipment for AIC]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 195-204(In Russian).*

Введение. Агропромышленный комплекс составляет значительную часть экономики государства, его состояние характеризует технический уровень развития страны. Этот комплекс включает множество предприятий растениеводства и животноводства, пищевой и перерабатывающей промышленности, предприятия по ремонту и обслуживанию техники. Эффективность их деятельности неразрывно связана с технической оснащенностью и определяется качественным уровнем эксплуатируемой техники, которая в про-

цессе работы изнашивается и требует ремонта или замены на новую.

Обычно объемные свойства материалов, из которых изготовлены детали агрегатов этой техники, в процессе работы сохраняются неизменными или изменяются несущественно, а выход их из строя связан, как правило, с утратой линейных размеров рабочих поверхностей или образованием на них локальных дефектов. Поэтому утилизация таких деталей во многих случаях не целесообразна, их изношенные поверхности восстанавливают нанесением покрытий разными методами с последующей механической обработкой. Это экономически и технически оправданно, так как обычно стоимость восстановления с обеспечением достаточного ресурса не превышает 30% от стоимости новой детали. Кроме того, быстроизнашиваемые детали агрегатов или рабочие органы машин часто подвергают упрочняющей обработке, что способствует значительному увеличению их ресурса.

Среди методов нанесения покрытий на токопроводящие материалы заметное место занимает электроискровой, известный специалистам в России и за рубежом как электроискровое легирование (ЭИЛ). Его развитию положило начало «пионерское» изобретение 1943 года советских ученых с мировым именем Б.Р. и Н.И. Лазаренко [1].

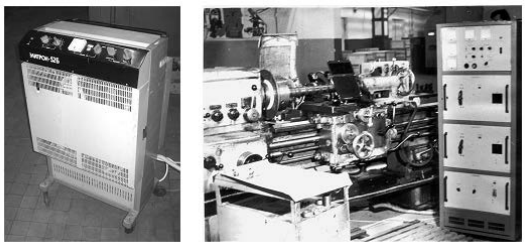
Цель исследования – рассмотреть универсальный и эффективный метод нанесения покрытий на токопроводящие материалы – электроискровое легирование, развитие электроискровых (ЭИ) технологий и оборудования для нужд агропромышленного комплекса.

Материалы и методы. Метод ЭИЛ основан на многократном воздействии на токопроводящую поверхность короткими электрическими разрядами длительностью от 2-3 до 2000 мкс (искра) с энергией импульсов от сотых долей до десятка джоулей, процесс реализуется в газовой среде или в вакууме, при этом в зоне искрового разряда температура достигает 10000 ^{o}C и более. В результате на обрабатываемой поверхности детали протекают микрометаллургические и диффузионные процессы с участием элементов материалов анода (электрод), катода (деталь) и межэлектродной среды.

На поверхности формируется измененный по структуре, составу и свойствам слой покрытия определенной толщины, который выполняет требуемые функции увеличения ресурса или восстановления работоспособности различных объектов (детали машин, инструменты для механической обработки различных материалов, рабочие органы сельскохозяйственных машин и прочее). Этот метод нашел широкое применение для нанесения износостойких покрытий на инструменты для механической обработки (резание, давление) различных металлических и неметаллических материалов, включая рабочие органы сельскохозяйственной техники и оборудования перерабатывающих предприятий, за счет чего их стойкость повышается в 2-6 раз и более. Он эффективен в ремонтном производстве при восстановлении утраченных в процессе эксплуатации размеров различных деталей, устранении локальных дефектов на их рабочих поверхностях; он успешно заполняет широкую нишу – до 85% в объеме восстановления деталей с односторонним износом до 150 мкм, в первую очередь – посадочные места неподвижных соединений.

Метод ЭИЛ прошел ряд этапов развития от его становления (1943-1961 гг.) и устойчивого развития (1962-1991 гг.) до этапа неуправляемого и неустойчивого развития – после 1991 г. и до настоящего времени [2]. На начальном этапе работы прикладного характера выполнялись преимущественно

в направлении упрочнения деталей машин, инструментов и техноло-гической оснастки, что актуально, в первую очередь, для предприятий машиностроения. Из числа 242 известных опубликованных в СССР и за рубежом работ за период 1943-1973 гг. лишь 10 (4,1%) посвящены восстановлению изношенных деталей. Первыми авторами работ по электроискровому восстановлению деталей (1955-1961 гг.) были Б.Р. Лазаренко, Г.В. Гусев, В.В. Ефремов, М.П. Заикин, Г.П. Иванов, А.В. Поляченко, а также Б.Т. Антонов (Болгария), C. Kolimar (Венгрия), Син Тхек Хи и Пак Се Чан (Корея); сведения об их публикациях приведены в библиографическом указателе литературы за 1943-1973 гг. (Кишинев: Штиинца. 1974). В последующем удельный объем публикаций по восстановлению деталей стал значительно увеличиваться. Так, за период 1974-1979 гг. он вырос до 8,4%. Результаты выполненных исследований и накопленный технологический опыт отражены в сборниках и монографиях известных ученых и специалистов, кото-рые способствовали развитию метода ЭИЛ и созданию на его основе новых технологий и оборудования [3-10]. Опытный завод Института прикладной физики Академии наук Молдавской ССР (ОЗ ИПФ АН МССР, г. Кишинев) разрабатывал и выпускал для реализации процесса ЭИЛ опытно-промышленными партиями ручные и механизированные установки типа «ЭФИ» (до 1980 г.) и в последующем – типа «Элитрон», высоко зарекомендовавшие себя во всех отраслях производства Советского Союза, а также за рубежом – Болгарии, Югославии, США, Мексике, Китае, Индии. Это оборудование эффективно применяли также на предприятиях АПК для восстановления изношенных деталей. Здесь наибольшее использование нашли установки для работы в ручном режиме «Элитрон-52Б» и механизированном режиме «Элитрон-347Б» на базе токарно-винторезного станка (*рис. 1*). С переходом от плановой экономики к рыночной это единственное в СССР предприятие по созданию и производству установок ЭИЛ прекратило свое существование.



a *b*

Рис 1. Установки: a – «Элитрон-52Б; b – «Элитрон-347Б»

Искровой разряд как технологический инструмент для разрушения электродного материала и переноса его элементов на поверхность деталей с целью их восстановления давно привлекал внимание специалистов научных учреждений, работающих в системе АПК. Известна одна из первых работ научных сотрудников ГОСНИТИ А.В. Поляченко и Г.Н. Пономарева, посвященная восстановлению методом ЭИЛ неподвижных посадок [11].

Результаты и обсуждение. Значительный вклад в развитие электроискровых технологий и оборудования для АПК внес коллектив лаборатории № 11, возглавляемой д.т.н., проф. Ф.Х. Бурумкуловым (1936-2013 гг.), входящей во Всероссийский научно-исследовательский институт технологии упроч-

нения, восстановления и изготовления деталей «Ремдеталь» Российской академии сельскохозяйственных наук (ВНИИТУВИД «Ремдеталь»; директор – д.т.н. проф. В.П. Лялякин), который в последующем был объединен с ГОСНИТИ (директор – академик В.И. Черноиванов). Этому способствовали ранее приобретенный руководителем лаборатории богатый опыт в области оценки работоспособности и долговечности восстановленных деталей, а также нерешенная проблема восстановления деталей с малыми износами. Фархад Хик матович обратил внимание на универсальность, технологичность и возможное применение метода ЭИЛ как для упрочнения металлических поверхностей, так и для восстановления множества малоизношенных деталей различных механизмов, но вышедших за предельно допустимые размеры; такие детали часто отправляли в утиль, хотя, обладая достаточным ресурсом, они могли бы еще использоваться после восстановления (*рис. 2*). Применявшиеся для их восстановления наплавочные методы были избыточными по толщине наносимых слоев, основную часть которых удаляли при последующей механической обработке, а также по тепловому воздействию, что вело к разупрочнению детали и ее короблению.

Рис. 2. Ф.Х. Бурумкулов в работе

В то время, когда интенсивно велись работы по механизации и автоматизации технологических процессов, когда в ремонтном производстве преобладали при восстановлении изношенных деталей сварочно-наплавочные методы с возможностью нанесения покрытий значительной толщины, метод ЭИЛ казался ограниченным в технологическом плане из-за относительно малой толщины наносимых покрытий, малопроизводительным и неперспективным для его использования на предприятиях АПК. Поэтому многие ведущие специалисты в области восстановления деталей относились скептически к использованию его в ремонтных целях. Ф.Х. Бурумкулов видел пробелы в изучении ЭИЛ, необходимость раскрытия особенностей этого метода для решения многих проблем отрасли. Непонимание специалистами положительных качеств ЭИЛ послужило стимулом для начала активных исследовательских работ и работ прикладного характера по применению электрической искры. Базируясь на личном опыте и опыте других специалистов, известных на то время результатах применения метода ЭИЛ в других отраслях промышленности, ему удалось не только доказать эффективность и перспективность метода ЭИЛ для применения в ремонтном про-

изводстве АПК, но совместно со своими учениками значительно продвинуться в совершенствовании его технологических возможностей. В этом он нашел понимание и поддержку своих руководителей В.П. Лялякина и В.И. Черноиванова, и это положительно отразилось на результатах дальнейшей работы. Работы по ЭИЛ лаборатории №11 начались в конце 1980-х годов при сотрудничестве со специалистами ООО «Вестрон» (г. Томилино, Московская область). Уже в 1990 г. на международной выставке «Золотая осень» совместный коллектив получил Диплом и Золотую медаль ВДНХ СССР за создание установки ЭИЛ «Вестрон». В последующем при сотрудничестве с ОЗ ИПФ АН МССР были выполнены перспективные исследования и эффективные прикладные работы по упрочнению и восстановлению ответственных деталей и инструментов (детали высоконагруженных пар трения, режущих инструментов, штампов, ходовых винтов и прочее). Успешные результаты деятельности лаборатории № 11, связанные с применением метода ЭИЛ, привлекали специалистов и руководителей АПК и Россельхозакадемии, что способствовало расширению его применения (*рис. 3*). Особо значимыми считали работы, результатом которых были ремонтные технологии применительно к агрегатам автотракторной техники, основанные на использовании восстановленных деталей и обеспечивающие 100% ресурс.

Рис. 3. Ф.Х. Бурумкулов знакомит членов совещания бюро механизации и автоматизации РАСХН с разработками лаборатории №11 (1999 г.)

Важным элементом для развития научно-технического направления, в частности, метода ЭИЛ стало привлечение молодых специалистов, создание научных школ.

Рис. 4. Сотрудники совместного коллектива (2007 г.): первый ряд (слева направо): В.И. Иванов, Ф.Х. Бурумкулов, П.В. Сенин, П.П. Лезин; второй ряд: Н.В. Раков, П.А. Ионов, С.А. Величко, Ю.А. Вантюсов, Е.А. Нуянзин; третий ряд: Д.А. Галин, А.М. Давыдкин, А.Е. Калякин, В.В. Власкин

Профессор Ф.Х. Бурумкулов был инициатором и организатором основания при Институте механики и энергетики Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (ИМЭ МГУ им. Н.П. Огарева) совместно с ВНИИТУВИД «Ремдеталь» Учебно-научно-производственного центра (УНПЦ) по упрочнению и восстановлению изношенных деталей концентрированными потоками энергии. Этот Центр успешно функционирует с 2001 г. по настоящее время и стал школой для подготовки высококвалифицирован-ных специалистов, в том числе докторов и кандидатов наук (*рис. 4)*. Ближайшими соратниками при его создании и развитии были д.т.н. проф. П.В. Сенин и д.т.н. проф. П.П. Лезин.

Благодаря созданию Центра и скоординированной совместной его работе с лабораторией №11 исследования воздействия электрической искры на токопроводящие материалы были усилены, у Ф.Х. Бурумкулова появились первые аспиранты этого направления С.А. Величко и П.А. Ионов, затем – Н.В. Раков (выпускники ИМЭ МГУ им. Н.П. Огарева). В настоящее время они, один доктор и кандидаты технических наук, развивают электроискровые технологии и имеют своих учеников в научно-исследовательской работе. Изучение метода ЭИЛ включено в учебную программу вузов.

Центр участвует как в учебном процессе, где студенты знакомятся с последними достижениями в области использования источников концентрированной энергии, так и ведет большую научно-исследовательскую работу, выполняет заказы предприятий Мордовии и ближайших областей по восстановлению деталей и ремонту различных агрегатов. Наибольшую известность и авторитет среди специалистов Центр приобрел благодаря созданию новых эффективных ремонтных технологий применительно к гидравлическим агрегатам различной техники и их внедрению в производство.

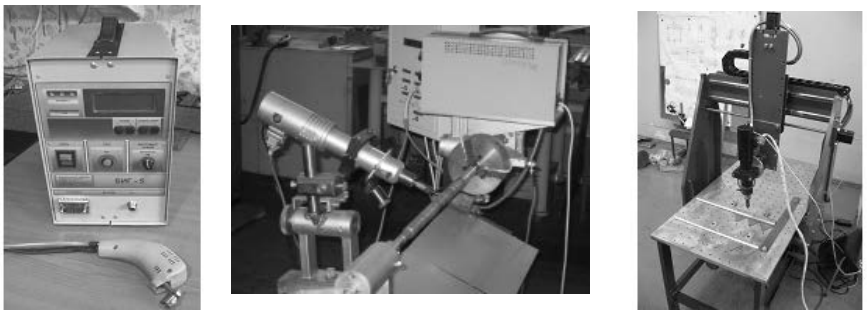
Деятельность этого уникального Центра в 2005 г. высоко оценили на выездном заседании Бюро по механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии. Отметили, что «…совместная деятельность научных коллективов ГОСНИТИ и Института механики и энергетики МГУ им. Н.П. Огарева является примером эффективной кооперации академической и вузовской науки при решении приоритетных направлений науки, способствует созданию новых технологий и техники, подготовке инженеров и специалистов». Следуя примеру МГУ им. Н.П. Огарева, метод ЭИЛ стал объектом внимания и исследований ряда вузов страны: МГТУ им. Н.Э. Баумана, Орловского ГАУ, Башкирского ГАУ и других.

Накопленный теоретический и практический опыт использования ЭИЛ отразился в книге авторского коллектива под руководством Ф.Х. Бурумкулова, вышедшей в 2003 г. и высоко оцененной специалистами России и многих зарубежных стран [12].

Сегодня эффективному применению метода ЭИЛ в АПК способствуют исследовательские работы коллективов НИИ и вузов России: МИСиС (г. Москва), ИСМАН (г. Черноголовка), Института материаловедения (г. Хабаровск), где успешно работают над созданием новых электродных материалов для ЭИЛ; Орловского ГАУ, Башкирского ГАУ, совершенствующих электроискровые технологии.

Наряду с другими научными центрами, дальнейшая работа по исследованию метода ЭИЛ, разработке и внедрению упрочняющих и восстанавливающих электроискровых технологий для предприятий АПК ведется лабораторией «Электроискровые и термодиффузионные процессы», созданной

на основе лаборатории № 11 после объединения в 2017 г. ряда институтов Россельхозакадемии, включая ГОСНИТИ, в Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Результатом ее деятельности являются как новые технологии, так и образцы оборудования для реализации процесса ЭИЛ, созданные при участии сотрудников лаборатории (р*ис. 5*).



a *b* *c*

Рис. 5. Образцы современного оборудования для ЭИЛ: a – универсальная установка «БИГ-5»; b – механизированный стенд ЭИЛ на базе вращателя; c – полуавтоматическая установка 3D

На базе дальнейших исследований физико-химических процессов эрозии материала электродов и формирования легированного слоя с требуемыми функциональными свойствами ведутся работы в содружестве с другими научными центрами России и зарубежья по развитию прикладных технологий ЭИЛ. Они включают следующие направления:

- разработка прикладных технологий упрочнения и восстановления с использованием традиционных технологических приемов нанесения покрытий;
- применение новых электродных материалов;
- нанесение многослойных покрытий с использованием нескольких отличных по составу и свойствам электродных материалов;
- нанесение толстослойных (более 1 мм при опорной поверхности более 80%) покрытий;
- наноструктурирование поверхностных слоев;
- формирование покрытий комбинированной обработкой несколькими методами (например, ЭИЛ + лазерная обработка);
- использование ЭИЛ применительно к деталям, изготовленным методом порошковой металлургии;
- использование ЭИЛ применительно к высокоточным парам трения.

Отмечая некоторые положительные стороны развития метода ЭИЛ в России, технологий и оборудования, обозначим также проблемы, препятствующие в настоящее время данному процессу. В первую очередь это нескоординированная деятельность разобщенных и малочисленных, порой конкурирующих между собой коллективов, которая в итоге малоэффективна. Хотя можно привести пример, когда научно-исследовательская структура (Институт прикладной физики АН МССР) и производственное предприятие (Опытный завод этого института) создавали на основе научных разработок образцы новой техники ЭИЛ мирового уровня – установки «ЭФИ» и «Элитрон» – и обеспечивали ими потребности страны и зарубежья. К таким проблемам надо отнести также низкую покупательную способность по-

тенциальных заказчиков, слабую техническую подготовку специалистов и другие. Однако создание комплексной системы развития ЭИЛ и ее реализация (должна охватывать выполнение дальнейших исследований процесса ЭИЛ и свойств покрытий, разработку новых электродных материалов и прикладных технологий, создание нового оборудования ЭИЛ и организацию его производства, подготовку обслуживающего персонала, разработку нормативно-технической документации) могут существенно улучшить использование в АПК этого эффективного метода и обогатить технологическую базу ремонтных и перерабатывающих предприятий отрасли.

Выводы. Метод электроискрового легирования обладает высокой универсальностью и эффективностью. Он интенсивно развивался и широко применялся в АПК и других отраслях производства в период плановой экономики. В настоящее время для повышения полезной отдачи этого метода необходима скоординированная работа ученых и специалистов, включающая проведение научных исследований, опытно-конструкторских и технологических работ, организацию производства оборудования и расходных материалов и подготовку инженерно-технического и производственного персонала.

Библиографический список

1. Авторское свидетельство СССР № 70010. Способ обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов / Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. М.: Приор. 1971. Бюлл. N7.

2. Иванов В.И. Об использовании и развитии метода электроискрового легирования в России // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 196-207.

3. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. М.: Изд-во АН СССР. 1959. 184 с.

4. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки металлов. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы. 1953. 107 с.

5. Иванов Г.П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин. М.: Машгиз. 1961. 302 с.

6. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. М.: Машиностроение. 1976. 45 с.

7. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев: Наукова думка. 1976. 219 с.

8. Верхотуров А.Д., Муха И.М. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. Киев: Техника. 1982. 182 с.

9. Фурсов С.П., Парамонов А.М., Добында И.В., Семенчук А.В. Источники питания для электроискрового легирования. Кишинев: Штиинца. 1983. 131 с.

10. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца. 1985. 196 с.

11. Поляченко А.В., Пономарев Г.Н. Способ восстановления неподвижных посадок // Техника в сельском хозяйстве. 1958. N11. С. 40-44.

12. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И., Величко С.А., Ионов П.А. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика). Саранск: Красный Октябрь. 2003. 504 с.

References

1. Avtorskoye svidetel'stvo SSSR № 70010. Sposob obrabotki metallov, splavov i drugikh tokoprovodyashchikh materialov [Author's certificate of the USSR No. 70010.

Method for processing metals, alloys and other conductive materials] / Lazarenko B.R., Lazarenko N.I. Moscow: Prior. 1971. Bull. N7 (In Russian).

2. Ivanov V.I. Ob ispol'zovanii i razvitii metoda elektroiskrovogo legirovaniya v Rossii [On the use and development of the electric spark alloying method in Russia].Trudy GOSNITI. 2018. Vol. 130. 196-207 (In Russian).

3. Lazarenko B.R., Lazarenko N.I. Elektroiskrovaya obrabotka tokoprovodyashchikh materialov [Electric spark treatment of conductive materials]. Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1959. 184 (In Russian).

4. Zolotykh B.N. Fizicheskiye osnovy elektroiskrovoy obrabotki metallov. M.: Gos. izdvo tekhniko-teoreticheskoy literatury [Physical bases of electric spark treatment of metals]. 1953. 107 (In Russian).

5. Ivanov G.P. Tekhnologiya elektroiskrovogo uprochneniya instrumentov i detaley mashin [Technology of electric spark hardening of tools and machine parts]. Moscow: Mashgiz. 1961. 302 (In Russian).

6. Lazarenko N.I. Elektroiskrovoye legirovaniye metallicheskikh poverkhnostey [Electric spark alloying of metal surfaces]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1976. 45 (In Russian).

7. Samsonov G.V., Verkhoturov A.D., Bovkun G.A., Sychev V.S. Elektroiskrovoye legirovaniye metallicheskikh poverkhnostey [Electric spark alloying of metal surfaces]. Kiyev: Naukova dumka. 1976. 219 (In Russian).

8. Verkhoturov A.D., Mukha I.M. Tekhnologiya elektroiskrovogo legirovaniya metallicheskikh poverkhnostey [Technology of electric spark alloying of metal surfaces]. Kiyev: Tekhnika. 1982. 182 (In Russian).

9. Fursov S.P., Paramonov A.M., Dobynda I.V., Semenchuk A.V. Istochniki pitaniya dlya elektroiskrovogo legirovaniya [Power sources for electricspark alloying]. Kishinev: Shtiintsa. 1983. 131 (In Russian).

10. Gitlevich A.E., Mikhaylov V.V., Parkanskiy N.YA., Revutskiy V.M. Elektroiskrovoye legirovaniye metallicheskikh poverkhnostey [Electric spark alloying of metal surfaces]. Kishinev: Shtiintsa. 1985. 196 (In Russian).

11. Polyachenko A.V., Ponomarev G.N. Sposob vosstanovleniya nepodvizhnykh posadok [Method of restoration of fixed landings]. Tekhnika v sel'skom kho-zyaystve. 1958. N11. 40-44 (In Russian).

12. Burumkulov F.Kh., Lezin P.P., Senin P.V., Ivanov V.I., Velichko S.A., Ionov P.A. Elektroiskrovyye tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin i instrumentov (teoriya i praktika) [Electric spark recovery and hardening technology of machine parts and tools (theory and practice)]. Saransk: Krasnyy Oktyabr'.2003. 504 (In Russian).

УДК 001.1:316 - 101.1:316 +94(470)

РОССИЙСКИЙ ЭЛЕКТРОТРАКТОР: ОТ ВОЛА И ЛОШАДИ ДО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Екатерина Григорьевна Прилукова, доктор философских наук, профессор кафедры, e-mail: prilukova74@gmail.com
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Российская Федерация

Реферат. *В условиях глобализации проблемы развития мира обретают новые очертания и требуют поиска инструментов их решения. Страновая конкуренция нарастает в различных сферах экономики, в том числе и в аграрном производстве. Поэтому аграрная политика должна быть социально ориентированной, ресурсосберегающей и экологически безопасной, одно из ее приоритетных направлений – разработка, внедрение и модернизация техники и технологий. (Цель исследования) Показать социокультурный контекст электрификации аграрной техники. (Материалы и методы) Материал исследования – репрезентация генезиса аграрной техники и технологий в литературе, поскольку развертывание сложных технико-технологических процессов предполагает обращение к изучению изменений конкретных видов техники под влиянием различных факторов осуществления деятельности человеком. Методологические рамки исследования определяются синтезированием интеллектуального капитала классического и постклассического периодов развития историко-философского дискурса техники. (Результаты и обсуждение) Отметили, что современная Россия нуждается в преобразовании технико-технологической и инженерной инфраструктуры сельского хозяйства. Определили, что внедрение новой техники и технологий происходит под влиянием социокультурных факторов деятельности. История развития отечественного машиностроения показывает основные тренды электрификации сельскохозяйственной техники: от увеличения доли потребления электроэнергии сельским хозяйством и первых попыток использовать электродвигатель до массового применения электротехники и ее автоматизации. Темпы электрификации сельхозтехники определяются государством, что задается спецификой аграрного сектора. Выявили, что внедрение техники и технологий в сельском хозяйстве отстает от их развития в целом. Система подготовки кадров существенно трансформируется и подчиняется диктату рынка, ориентируясь на формирование агроинженерных учебных заведений как бизнес-корпораций. (Выводы) Все новейшие научные разработки в области собственно техники не могут осуществляться без технико-экономического обоснования их внедрения и без подготовки специалиста-профессионала. Несмотря на тотальную коммерциализацию и массовизацию образования, сведение его до образовательной услуги и погоню за всевозможными рейтингами, предназначение университета – формирование Мастера.*

Ключевые слова: *глобализация, наука, образование, специалист, человек, электрификация, электродвигатель, электротрактор.*

Для цитирования: *Прилукова Е.Г. Российский электротрактор: от вола и лошади до электричества // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 205-212.*

RUSSIAN ELECTRIC TRACTOR: FROM OX AND HORSE TO ELECTRICITY

Ekaterina G. Prilukova, Dr. Sc. (Phil.), associate professor;
South Ural State University (national research university);
Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract. *The problems of world development take on completely new outlines and require the search for new tools to solve them in the context of globalization. The increased country competition in various fields manifests itself distinctly; agricultural production is not an exception. Therefore, agricultural policy should be socially oriented, resource-saving and environmentally safe, one of its priorities is the development, implementation and modernization of equipment and technologies. (Research purpose) The research purpose is to show the socio-cultural context of electrification of agricultural machinery. (Materials and methods) The material of the study is a representation of the genesis of agricultural machinery and technologies in the literature, since the deployment of complex technical and technological processes involves an appeal to the study of changes in specific types of equipment under the influence of various factors of human activity. The methodological framework of the research is determined by the synthesis of the intellectual capital of the classical and postclassical periods of the development of the historical and philosophical discourse of technology. (Results and discussion) The article notes that modern Russia needs to transform the technical, technological and engineering infrastructure of agriculture. It was found that the introduction of new equipment and technologies occur under the influence of socio-cultural factors of activity. The history of development of domestic mechanical engineering shows the main trends of electrification of agricultural machinery: from the increase in the share of electricity consumption by agriculture and the first attempts to use the electric motor to the mass use of electrical engineering and its automation. The rate of electrification of agricultural machinery is determined by the state, which is set by the specifics of the agricultural sector. It was revealed that the introduction of equipment and technologies in agriculture lags behind their development in general. The system of personnel training is significantly transformed and obeys the dictates of the market, focusing on the formation of agroengineering educational institutions as business corporations. (Conclusions) No latest scientific developments in the field of technology itself can be carried out without a feasibility study of their implementation and without the training of a professional. Despite the total commercialization and massive spread of education, reducing it to an educational service and the pursuit of all sorts of ratings, the purpose of the University is the formation of a Master.*

Keywords: *globalization, science, education, specialist, person, electrification, electric motor, electric tractor.*

For citation: *Prilukova E.G. Rossiyskiy elektrotraktor: ot vola i loshadi do elektrichestva [Russian electric tractor: from ox and horse to electricity]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 0-0(In Russian).*

Введение. Мир настоящего времени привычно определяется научным сообществом как мир глобальный, в котором многие проблемы его развития обретают совершенно новые очертания и требуют поиска новых инструментов их решения [1, 2]. Не является в этом плане исключением аграрная сфе-

ра государства, нуждающаяся в постоянной заботе и внимании с его стороны, поскольку агропромышленный комплекс – самостоятельная открытая система, включенная в более сложную – социальную.

Следовательно, он не только взаимодействует с другими элементами социума, но и должен гарантировать их существование и развитие, поскольку обеспечивает продовольственную безопасность. Это требует выработки социально ориентированной, ресурсосберегающей и экологически безопасной аграрной политики, реализация которой позволяет производить конкурентоспособный продукт. Одним из ее ключевых направлений должны быть постоянные внедрение и модернизация техники и технологий. В противном случае себестоимость продукта АПК будет настолько высока, что никакие бюджетные интервенции не позволят даже сравняться с сельхозпроизводителями Западной Европы и США, обладающими «умной техникой и технологиями».

Поэтому общенациональное значение обретает преобразование инженерной инфраструктуры сельского хозяйства, ибо в нем сегодня явно предъявляют себя «деиндустриализация сельхозпроизводства, сужение и деградация его материально-технической базы, особенно активной машинной части… Сельхозтехника крайне изношена, и сроки ее эксплуатации перешли все разумные границы. В крайнем упадке находится вся система сельскохозяйственного машиностроения» [3]. Важную роль в решении этих проблем играет поиск и применение новых источников тягловой силы в аграрной технике.

Цель исследования – показать социокультурный контекст электрификации аграрной техники.

Материалы и методы. Методологические рамки исследования определяются синтезированием интеллектуального капитала классического и постклассического периодов развития историко-философского дискурса техники, требованиями основных положений системного, феноменологического, герменевтического и семиотического подходов. Материалом исследования служит репрезентация генезиса аграрной техники и технологий в литературе, поскольку развертывание сложных технико-технологических процессов предполагает обращение к изучению изменений конкретных видов техники под влиянием различных факторов осуществления деятельности человеком.

Результаты и обсуждение. Обращение к электрификации российского сельского хозяйства и его техники фактически начинается лишь с победой Великой октябрьской революции 1917 г. До нее преобладал ручной труд, а основным источником энергии были домашний скот и физическая сила человека. Государство диктатуры пролетариата нуждалось в существенной трансформации аграрной отрасли, поскольку «подъем производительности сельскохозяйственного труда, его интенсификация, механизация и рационализация с предельной жесткостью поставлены… и всем прошлым ходом нашего экономического развития и наиболее существенными интересами его будущего» [4].

Кроме того, большевики поставили задачу превратить аграрно-индустриальную Россию в индустриально-аграрную, принимая во внимание, что «социализм не мыслим без крупнокапиталистической техники, построенной по последнему слову новейшей науки» [5]. Следует отметить, что внедрение техники в сельскохозяйственное производство во всем мире всегда отстает от развития самой техники, и тому есть свои причины, во многом

задаваемые его естественной спецификой. В 1920 г. создается комиссия по разработке Государственного плана электрификации России или плана ГОЭЛРО, возглавляемая Г.М. Кржижановским, одним из активных ее участников был известный философ и ученый-электротехник П. Флоренский. Первые итоги реализации плана оказались выполненными к 1926 г. и были внушительными – через 10 лет «вместо запроектированных 1750 кВт новых мощностей ввели в эксплуатацию 2560 кВт, а производство электроэнергии только за один последний год увеличилось почти вдвое.

К концу же пятнадцатилетнего срока – к 1935 г. энергетика страны вышла на уровень мировых стандартов и заняла третье – после США и Германии – место в мире» [6]. Начавшаяся индустриализация привела к увеличению потребления электроэнергии сельским хозяйством. Однако существенных изменений в распределении энергоресурсов не отмечалось практически до конца 30-х годов – в 1928 г. затраты механической энергии составляли всего лишь 18%, остальные 27% – за счет ручного труда и 55% – рабочих животных; в целом сельское хозяйство потребило 33,8 млн кВтч, из которых непосредственно в производство – 4,1 млн кВтч [7].

В 1933 г. электрическая мощность сельскохозяйственных электроустановок составляла 78 тыс. кВт [8]. В таких условиях об использовании электродвигателя не могло быть и речи. Постепенно ситуация меняется: наблюдается рост потребления электроэнергии, создаются показательные электрифицированные колхозы, совхозы и МТС. В 1940 г. сельское хозяйство потребило 538 млн кВтч и эксплуатировало 30 тыс. электродвигателей. Значительных успехов добилась Запорожская область, 20,3% всех хозяйств которой к 1940 г. было электрифицировано, работало свыше 300 электродвигателей.

Данный период характеризуется как время «перевода с ручного, конного, механического привода сельскохозяйственных машин на электропривод», начинается осмысление использования возможностей электроэнергии для сельскохозяйственной техники [9]. Так, при наличии группы рабочих машин, применялся трансмиссионный привод – от одного двигателя через систему валов и ременных передач приводили в действие сразу несколько машин. Использовали также передвижной электропривод, когда на тележку монтируется электродвигатель с системой шкивов и пусковой аппаратурой, установку поочередно соединяют с разными рабочими машинами, что и приводило в действие несколько машин от электродвигателя. Однако потенциал электродвигателя задействован недостаточно.

Начинается разработка электродвигателя на тракторы в ВИЭСХе и в ВИМе. Под руководством академика П.Н. Листова создали несколько электротракторов, испытания которых в реальных условиях показали их работоспособность и преимущества по сравнению с другими видами [10]. Великая Отечественная война приостановила эти и многие другие исследования. Послевоенное время в развитии электрификации сельскохозяйственной техники можно определить как время постепенного исчезновения трансмиссионного и группового электропривода и распространения простого одиночного. Более того, в этот период появляется электродвигатель с простейшей автоматикой и дистанционным управлением.

Вопросы электрификации сельскохозяйственной техники приобретают актуальность после сентябрьского пленума ЦК КПСС, определившего стратегию работы по электрификации сельскохозяйственного производства пу-

тем «обеспечения сельского хозяйства машинами, работающими от электропривода,» и необходимости подготовки высококвалифицированных кадров [11]. В результате присоединения к государственным энергосистемам сельских электроустановок хозяйства получили более качественную электроэнергию, а электропривод стал энергетической базой стационарных процессов и в 1958 г. использовалось около 1 млн электродвигателей.

Научно-исследовательские коллективы активизировали работу по внедрению электродвигателей, применение которых оценивали на основе экономии ручного труда. Изменения в конструкции сельхозмашин, большинство из которых стало выпускаться с электродвигателем и пускозащитной аппаратурой провоцировало научные разработки в развитии сельскохозяйственного электропривода (М.Г. Евреинов, П.Н. Листов, Г.И. Назаров, С.П. Лебедев, А.А. Климов, П.А. Рубцов, Р.М. Славин и другие). Проводились оригинальные научные исследования на основе учета мощности источников питания и с учетом режимов работы и требований технологического процесса, поскольку многие сельскохозяйственные установки получали питание не только от автономных маломощных генераторов, но и систем централизованного электроснабжения по линиям с малой пропускной способностью. Однако в производство они, к сожалению, не были внедрены. Существенный вклад в вопросы электрификации агропромышленного комплекса внесли 60-70-е гг.: продолжалась начатая ранее работа по созданию техники на основе применения электроэнергии, повышался уровень ее эксплуатации и механизации сельского хозяйства, производительности труда, снижалась себестоимость конечного продукта.

С появлением поточных технологических линий началось внедрение регулируемого автоматизированного электропривода в аграрном машиностроении – электродвигатель, применяемый вместе с коммуникационной аппаратурой, превращается и в средство управления. Научные исследования в области электрификации техники ведутся в двух направлениях: первое, разработка мобильного агрегата с централизованным (кабельным) питанием и, второе, – разработка мобильного агрегата с питанием от автономного генератора, приводимого в действие двигателем внутреннего сгорания. Первые образцы электротрактора с кабельным питанием, созданные в 30-е гг., были испытаны в 50-е годы.

Основой послужил гусеничный трактор харьковского тракторного завода, на который установили асинхронный двигатель с фазовым ротором, питание осуществлялось через кабель от передвижного понизительного трансформатора. Испытания выявили преимущества и недостатки электротрактора, над которыми предстояло работать. В Советском Союзе разрабатывали и производили не только электротракторы, но и электрокомбайны и даже комплекты сельскохозяйственных машин и орудий для челночной обработки почвы, получившие название электромобильных агрегатов [12]. Казалось бы, дальнейшее повсеместное применение электрической энергии в технико-технологических процессах в сельском хозяйстве неизбежно, и этому ничто не мешает.

Однако на первый план явно начинает выходить не столько технический, сколько экономической аспект применения электродвигателя, связанный со спецификой организации работ в сельском хозяйстве – стоимость работ трактора с электродвигателем на кабельном питании оказалась выше, чем с ДВС. При этом в расчет не брались такие показатели, как производитель-

ность труда, качество работы, и испытания прекратились. Лишь в 80-х гг. вновь проявился интерес к электротрактору, что было продиктовано удорожанием жидкого топлива. Опытно-экспериментальные исследования показали, что электрифицированное мобильное устройство с питанием от автономного генератора более эффективно – легко приспосабливается к условиям работы, лучше выдерживает кратковременные перегрузки, повышает производительность труда и более соответствует требованиям экологических императивов. В настоящее время работы по созданию электротрактора продолжаются, и в качестве источника энергии в них применяются новые химические накопители – литий-ионные аккумуляторы или тяговые электродвигатели-генераторы с литий-ионными аккумуляторами и суперконденсаторами [13, 14].

Какие бы перспективы разработки и применения электродвигателя в технике и технологии не рассматривались, они невозможны без человека. Поэтому процессы дальнейшей модернизация сельскохозяйственного производства требуют преодоления надвигающейся угрозы его развитию – растущей деинтеллектуализации.

Сегодня практически отсутствует отвечающая вызовам времени система подготовки кадров высококвалифицированных специалистов, ориентирующихся в достижениях науки и способных их применять. Сложившаяся архитектура системы высшего профессионального образования явно не способствует развитию сельскохозяйственных вузов – их присутствие в рамках Болонской системы становится проблематичным, потому что они готовят кадры для отрасли, не приносящий прибыль здесь и сейчас, как того требует бизнес. Агропромышленный комплекс во все времена и во всех странах, особенно высокоразвитых, находится под покровительством государства.

Выводы. Исследование отчетливо показывает, что в отечественном сельскохозяйственном машиностроении явно имеет место тенденция применения электродвигателя, позволяющая решить ряд насущных вопросов (экономия ресурсов, обеспечение экологической безопасности, повышение производительности труда и т.п.). Более того, в российской науке есть немало перспективных исследовательских программ, которым нет равных в мире, они нуждаются лишь в доработке и внедрении.

В свою очередь это предполагает внесение изменений в систему подготовки инженерных кадров, потому что современный специалист должен обладать рационально-критическим мышлением в целом, а не только знаниями в своей профессиональной сфере, хотя никто профессионализм не отменяет.

Библиографический список

1. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: НИУ ВШЭ. 2017. 140 с.

2. Хейфец Б.А. Метаморфоза экономической глобализации. М.: Институт экономики РАН. 2018. 41 с.

3. Буздалов И.Н. Основной ответ: обеспечить приоритет сельского развития // Аграрный сектор России в условиях международных санкций: вызовы и ответы: материалы Международной научной конференции «Аграрный сектор России в условиях международных санкций: вызовы и ответы» 10-11 декабря 2014 г., Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. М.: РГАУ-МСХА. 2015. С. 119-142.

4. План электрификации РСФСР. Доклад VIII съезду Советов Государственной

комиссии по электрификации России. Изд. 2-е. М.: Государственное издательство политической литературы. 1955. 663 с.

5. Ленин В.И. О «левом» ребячестве и о мелкобуржуазности // Полное собрание сочинений: в 55 т. М. 1977. Т. 36. С. 283-314.

6. Гвоздецкий В. План ГОЭЛРО. Мифы и реальность // Наука и жизнь. 2001. N5. С. 102-109.

7. Мусин А.М. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов. М.: Агропромиздат. 1985. 239 с.

8. Стребков Д.С., Молоснов Н.Ф., Тихомиров А.В. Научные основы электрификации сельского хозяйства: история и современность // Вестник ВИЭСХ. 2008. N1(3). С. 11-38.

9. Кормановский Л.П. К юбилею науки по механизации и электрификации сельского хозяйства // Вестник ВИЭСХ. 2008. N1(3). С. 6-10.

10. Листов П., Сергеев А. Роль электрификации в подъёме сельского хозяйства СССР. М.: Госполитиздат. 1954. 70 с.

11. Хрущев Н.С. О мерах дальнейшего развития сельского хозяйства СССР. Доклад на Пленуме ЦК КПСС 3 сентября 1953 г. М.: Госполитиздат. 1954. 85 с.

12. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве: справочник / под ред. акад. ВАСХНИЛ П.Н. Листова; сост. А.М. Ганелин. М.: Колос. 1974. 624 с.

13. Загинайлов В.И., Андреев С.А. История развития, состояние и перспективы применения электромобильной техники в полеводстве // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина. 2017. N6. С. 15-22.

14. Дидманидзе О.Н., Иванов С.А., Иволгин В.А. Трактор с комбинированной энергоустановкой // Сельский механизатор. 2008. N11. С. 6-7.

References

1. Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030]. Moscow: NIU VShE. 2017. 140 (In Russian).

2. Kheyfets B.A. Metamorfoza ekonomicheskoy globalizatsii [The metamorphosis of economic globalization]. Moscow: Institut ekonomiki RAN. 2018. 41 (In Russian).

3. Buzdalov I.N. Osnovnoy otvet: obespechit' prioritet sel'skogo razvitiya [The main answer: to ensure the priority of rural development]. Agrarnyy sektor Rossii v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsiy: vyzovy i otvety: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Agrarnyy sektor Rossii v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsiy: vyzovy i otvety» 10-11 dekabrya 2014 g., Moskva, RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva. Moscow: RGAU-MSKHA. 2015. 119-142 (In Russian).

4. Plan elektrifikatsii RSFSR. Doklad VIII s"yezdu Sovetov Gosudarstvennoy komissii po elektrifikatsii Rossii [The plan of electrification of the RSFSR. Report to the VIII Congress of Soviets of the State Commission for electrification of Russia]. 2nd ed. Moscow: Gosudarstvennoye izdatel'stvo politicheskoy literatury. 1955. 663 (In Russian).

5. Lenin V.I. O «levom» rebyachestve i o melkoburzhuaznosti [The "left" childishness and petty-bourgeois]. Polnoye sobraniye sochineniy: v 55 t. Moscow. 1977. Vol. 36. 283-314 (In Russian).

6. Gvozdetskiy V. Plan GOELRO. Mify i real'nost' [GOELRO plan. Myths and reality]. Nauka i zhizn'. 2001. N5. 102-109 (In Russian).

7. Musin A.M. Elektroprivod sel'skokhozyaystvennykh mashin i agregatov [Electric drive of agricultural machines and units]. Moscow: Agropromizdat. 1985. 239 (In Russian).

8. Strebkov D.S., Molosnov N.F., Tikhomirov A.V. Nauchnyye osnovy elektrifikatsii

sel'skogo khozyaystva: istoriya i sovremennost' [Scientific basis of agricultural electrification: history and modernity]. Vestnik VIESH. 2008. N1(3). 11-38 (In Russian).

9. Kormanovskiy L.P. K yubileyu nauki po mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva [To the anniversary of science on mechanization and electrification of agriculture]. Vestnik VIESH. 2008. N1(3). 6-10 (In Russian).

10. Listov P., Sergeyev A. Rol' elektrifikatsii v pod"yëme sel'skogo khozyaystva SSSR [The role of electrification in the rise of agriculture in the USSR]. Moscow: Gospolitizdat. 1954. 70 (In Russian).

11. Khrushchev N.S. O merakh dal'neyshego razvitiya sel'skogo khozyaystva SSSR. Doklad na Plenume TSK KPSS 3 sentyabrya 1953 g [Measures of further development of agriculture of the USSR. Report at the Plenum of the Central Committee of the CPSU September 3, 1953]. Moscow: Gospolitizdat. 1954. 85 (In Russian).

12. Primeneniye elektricheskoy energii v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: spravochnik [Application of electric energy in agricultural production: reference] ed. by akad. VASKHNIL P.N. Listov; comp. by A.M. Ganelin. Moscow: Kolos. 1974. 624 (In Russian).

13. Zaginaylov V.I., Andreyev S.A. Istoriya razvitiya, sostoyaniye i perspektivy primeneniya elektromobil'noy tekhniki v polevodstve [History of development, state and prospects of application of electric vehicles in the field]. Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina. 2017. N6. 15-22 (In Russian).

14. Didmanidze O.N., Ivanov S.A., Ivolgin V.A. Traktor s kombinirovannoy energoustanovkoy [Tractor with combined power plant]. Sel'skiy mekhanizator. 2008. N11. 6-7 (In Russian).

УДК 63 (091)

О СТАНОВЛЕНИИ РОССИЙСКОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Юлия Сергеевна Ценч, кандидат педагогических наук,
ведущий научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Правительство России сыграло заметную роль в развитии в стране сельскохозяйственного машиностроения, выделяя субсидии, закупая и распространяя образцы новейшей техники и оборудования. Сельскохозяйственный Музей Министерства Государственных Имуществ стал научно-просветительским центром в области механизации сельского хозяйства в России (Цель исследования) Изучить роль сельскохозяйственных выставок в развитии производства сельскохозяйственной техники. (Материалы и методы) Определили, что большой вклад в становление отечественного аграрного машиностроения внесли всероссийские сельскохозяйственные выставки. На выставках демонстрировали передовую для того времени российскую и зарубежную технику: жатки, сеялки, молотилки; а впоследствии – комбайны. (Результаты и обсуждение) Показали, что во второй половине XIX века в России стали активно создавать и внедрять в производство сельхозмашины. Отметили, что Россия могла бы стать родиной зерноуборочных комбайнов; А.Р. Власенко в 1868 году сконструировал машину под названием «конная зерноуборка на корню», но из-за отсутствия финансирования потерял свое право на изобретение. (Выводы) Лучшие машины и орудия отечественного производства, представленные на выставках, часто не уступали образцам передовых иностранных фирм. Но все же отечественное производство значительно отставало от сельскохозяйственного машиностроения США и Западной Европы. Выставки и конкурсы, кроме рекламы достижений мирового и отечественного сельхозмашиностроения, знакомили земледельцев с новыми машинами, способствуя их обучению. Систематическое чтение лекций, практические занятия были организованы в петербургском Императорском сельскохозяйственном музее, в губернских и уездных музеях, в средних и низших сельскохозяйственных учебных заведениях.*

Ключевые слова: *сельскохозяйственные выставки, пароконная жатка, молотилки с локомобилями, жатки-самосбросы, конная зерноуборка.*

Для цитирования: *Ценч Ю.С. О становлении российского сельскохозяйственного машиностроения // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 213-218.*

ON THE FORMATION OF RUSSIAN AGRICULTURAL ENGINEERING

Yuliya S. Tsench, PhD (Eng.), leading researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The Russian government has played a significant role in the development of agricultural machinery in the country, allocating subsidies, purchasing and distributing samples of the latest machinery and equipment. The agricultural Museum of the Ministry of State Property has become a scientific and educational center in the field of agricultural mechanization in Russia (Research purpose) The research purpose is to study the role of agricultural exhibitions in the development of agricultural machinery production. (Materials and methods) It has been determined that a great contribution to the formation of domestic agricultural engineering made all-Russian agricultural exhibitions. The exhibitions demonstrated advanced for that time Russian and foreign equipment: reapers, seeders, threshers, and later combines extend this list. (Results and discussion) The article shows that in the second half of the XIX century in Russia began creating and implementing in the production of agricultural machinery. It is noted that Russia could become the birthplace of combine harvesters; A. R. Vlasenko in 1868 designed a machine called "horse harvester on the root", but due to lack of funding lost his right to the invention. (Conclusions) The best machines and tools of domestic production, presented at exhibitions, are often not inferior to the samples of advanced foreign firms. Still, domestic production lagged far behind agricultural engineering in the United States and Western Europe. Exhibitions and competitions, in addition to advertising the achievements of world and domestic agricultural machinery, acquainted farmers with new machines, contributing to their training. Systematic lectures, practical classes were organized in the St. Petersburg Imperial agricultural Museum, in provincial and County museums, in medium and lower agricultural educational institutions.*

Keywords: *agricultural exhibitions, steam-horse reaper, threshers with locomobiles, self-loading reapers, horse harvesting.*

For citation: *Tsench Yu.S. O stanovlenii rossiyskogo sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya[On the formation of Russian agricultural engineering]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 213-218 (In Russian).*

Введение. Правительство России поощряло развитие сельскохозяйственного машиностроения, выделяя субсидии, закупая и рассылая образцы прогрессивных машин и оборудования. В 1860 г. оно издало распоряжение о приобретении за границей на известных заводах и на предстоящей в Париже сельскохозяйственной выставке наиболее усовершенствованных орудий и машин [1]. Достижения мирового сельхозмашиностроения должны были стать ориентиром при организации отечественных предприятий, снабжающих сельскохозяйственное производство [2]. 12 января 1861 г. Высочайше утверждено Положение «О сельскохозяйственном Музее Министерства Государственных Имуществ в г. Санкт-Петербурге». В дальнейшем он стал научно-просветительским центром в области механизации сельского хозяйства в России. У истоков становления музея стоял его первый заведующий Николай Васильевич Черняев. Его энтузиазм и труды по сельскому хозяйству получили признание в Германии, которая наградила Н.В. Черняева орденом Железной короны, а также во Франции, отметившей его заслуги орденом Почетного легиона [3].

Цель исследования – изучить роль сельскохозяйственных выставок в развитии производства сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. О том, как развивалось отечественное сельхозмашиностроение можно судить по всероссийским выставкам [4, 5].

1829 г. – в Петербурге открыта первая в России публичная сельскохозяйственная выставка, где, кроме продукции сельского хозяйства, демонстрировали некоторые отечественные сельскохозяйственные орудия.

1836 г. – в Москве прошла вторая, более обширная аналогичная выставка сельскохозяйственных орудий и инвентаря.

1850 г. – в Петербурге состоялась третья всероссийская выставка. В тематическом отделе «Хозяйственные машины, пахотные орудия и снаряды» объединили свыше 120 образцов машин и орудий. Здесь демонстрировали наиболее совершенную для того времени пароконную жатку конструкции Каугерта и Языкова, которую в небольших количествах изготавливали мастерские Вольного Экономического общества в Петербурге, жатку белорусского крестьянина О.А. Якушева, оригинальную четырехконную молотилку с зубовым барабаном М. Гвоздикова, популярную в южных регионах России.

1852 г. – участвовали четыре механических заведения: Вильсона и братьев Бутеноп из Москвы, Шумана – из Екатеринославской губернии, а также Мальцова – из Калужской. Из Англии для ознакомления привезли семь экспонатов. На выставке демонстрировали «южнорусский» и «колонистский» оригинальные отечественные плуги.

1860 г. – на Всероссийской выставке сельского хозяйства и промышленности в Петербурге была представлена довольно широкая номенклатура оригинальных машин отечественного производства. Большая Золотая медаль и высшая денежная награда присуждены Харьковскому заводу Н. Вестберга за создание простой четырехконной молотилки с бильным барабаном и соломотрясом. Эта молотилка заслужила Золотую медаль и на Всемирной Парижской выставке в 1859 г.

1864 г. – на Московской выставке 61 российский и 16 иностранных экспонентов представили 417 и 550 машин и орудий соответственно. Примечательно, что из 100 плугов, выставленных в качестве экспонатов, 75 произведены в России. Луганский завод впервые показал молотилку не с конным приводом, а с паровым двигателем мощностью 8 л.с.

1870 г. – на Всероссийской мануфактурной выставке представлены новая молотилка с приводом мощностью 10 л.с., оригинальная конструкция плуга В.И. Васильчикова.

1872 г. – во Всероссийской выставке участвовали 19 русских экспонентов.

1882 г. – на Всероссийской промышленно-художественной выставке в Москве 60 отечественных заводов экспонировали сложные молотилки с локомобилями, рядовые сеялки, жатки-самосбросики, сенокосилки, конные грабли, сортировки и другие машины, орудия и инвентарь [6]. Большой успех имели молотилки завода Леппа и Вальмана, хорошо справлявшиеся с обмолотом твердых сортов пшеницы. Выставка показала одно из основных направлений развития сельхозмашиностроения – замену ручного и конного привода на механизированный.

Чтобы выбрать машины, наиболее подходящие к условиям конкретного хозяйства, усовершенствовать их или создать новые, необходимо было ориентироваться в большом разнообразии сельскохозяйственной техники, изучить ее на практике, провести объективное научное сравнение. С этой целью земледельческая школа Императорского Московского общества сельского хозяйства обустроила учебно-практический Бутырский хутор, где начали испытывать отечественные и импортные сельхозмашины и орудия и давали рекомендации по их применению.

1887 г. – в Харькове прошел конкурс сельскохозяйственных машин.

1895 г. – состоялась первая сельскохозяйственная машинная выставка на Бутырском хуторе по случаю 75-летия Общества. Ее цель – ознакомление земледельцев с достижениями мирового и российского сельхозмашиностроения. На выставке продемонстрировали первые электрические приборы – аккумуляторы с двумя фонарями московского инженера Гнесина – для освещения ночной молотьбы колосьев.

1896 г. – Всероссийская выставка в Нижнем Новгороде собрала более 300 экспонентов – производителей сельхозмашин и орудий. Здесь продемонстрировали анкерные сеялки завода Эльворти, которые имели оригинальные так называемые русско-американские сошники, а также регуляторы высева семян и глубины их заделки. Одной из лучших стала 11-рядная сеялка «Россия». Этот же завод показал различные молотилки. Выставка собрала большое количество конных молотилок и жнеек-лобогреек, ежегодный выпуск которых превышал 20 тыс. единиц. Выставка показала, что увеличилась доля плугов собственного производства.

Результаты и обсуждение. Начиная с 1870-х гг. развитие механизация уборки хлебов идет быстрыми темпами. Сначала завозят американские машины, а затем их начинают производить в России. Причем, если в США были популярны жатки-сноповязалки, то в нашей стране предпочитали жатки с ручным сбросом сжатого хлеба без вязки в снопы. Они намного проще и дешевле, чем жатки со сложным грабельным механизмом сброса (жатки-самосбросы) и тем более, чем жатки со сноповязалками, для которых нужно было приобретать в Америке специальный шпагат. Но работа на жатках с ручным сбросом чрезвычайно трудоемкая и тяжелая. Поэтому их назвали «лобогрейками». Примечательно, что, кроме лобогреек, других жаток не производили вплоть до 1908 г., когда Международная компания жатвенных машин основала завод в Люберцах под Москвой по выпуску косилок, жаток-самосбросок и сноповязалок.

Россия могла стать, но не стала родиной зерноуборочных комбайнов. 4 января 1869 г. «Земледельческая газета» писала: «Департамент земледелия и сельской промышленности объявляет, что в оный 18 декабря 1868 года поступило прошение ученого управителя Андрея Романовича Власенко о выдаче ему 10-летней привилегии на изобретенную им машину под названием «конная зерноуборка на корню». Она могла выполнить работу двух машин – жнейки и молотилки, была в 20 раз эффективней ручного труда и в 8 раз производительнее, чем американская жнейка «Мак-Кормик», получившая золотую медаль в 1870 г. на выставке сельскохозяйственных машин в Австро-Венгрии. Российского изобретения там не было, так как царское правительство отказалось выдать деньги для доставки «зерноуборки».

Несмотря на то, что в адрес департамента земледелия посыпались похвальные отзывы и ходатайства об изготовлении машины Власенко, министр наложил резолюцию: «Мы даже более простые жатвенные и косильные машины и молотилки привозим из-за границы» [7]. Вероятно, он считал, что изготовление такой машины не по силам нашим заводам.

На Всемирной выставке в Париже в 1878 г. представили английскую зерноуборочную машину «стриппер», похожую на изобретение А.Р. Власенко. Но русских представителей не устроила ее работа, и они отказались ее покупать [8]. Крестьяне, учителя, агрономы всем миром собрали средства, на которые изобретатель смог изготовить второй, усовершенствованный, эк-

земпляр своей «зерноуборки». Обе машины успешно работали несколько лет на полях Бежецкого уезда Тверской губернии, пока не износились.

Изобретатель терял свое право на изобретение в то время, если в установленный срок (10 лет) не смог наладить промышленное производство созданной им машины. В 1879 г. предприимчивые американцы, которые ранее предлагали Власенко продать свое изобретение, когда истек срок его патента, «изобрели» жнею-молотилку, назвав ее впоследствии комбайном. О его испытании русский корреспондент писал: «Американский комбайн очень похож на машину Власенко, но он тяжелее и приводится в движение 24 мулами при 7 работниках, тогда как машина Власенко работает с парой лошадей при одном погонщике...». Указывали также на значительные потери зерна при работе американского комбайна [9]. Россия всегда была богата талантами, в том числе и конструкторскими. В частности, усовершенствовать плуг взялся А.Г. Павлов, организовавший в 1880 г. в г. Гжатске Смоленской губернии мастерскую по производству сельхозорудий [10-12]. Оригинальную конструкцию орудия разработал В.И. Васильчиков. Его плуг, представленный на Всероссийской мануфактурной выставке в 1870 г. в Петербурге, охотно применяли в хозяйствах Воронежской, Тамбовской и Орловской губерний. Новые конструкции плугов создал профессор Ново-Александровского института сельского хозяйства и лесоводства А. Зелинский. Удачную конструкцию пятикорпусного плуга разработал в 1871 г. В. Христофоров. В том же году И. Бек создал настолько эффективную конструкцию, что ее позаимствовали зарубежные производители, наладив выпуск «колонистского плуга». Жатвенные машины запатентовали в 1846 г. Ф. Языков и в 1860 г. П.А. Зарубин. Свою конструкцию жатки создал крестьянин А. Хитрин. Агроном Р. Циховский в 1873 г. представил оригинальную конструкцию бороны, агрономы Ф. Майер и И.Ф. Гриневицкий сконструировали эффективные сеялки. К удаленным конструкциям можно отнести молотилку Меньшикова (1894 г.), молотилку с конным приводом А. Прянишникова, веялку-сортировку «Успех» Ф. Вараксина (1906 г.). В нашем отечестве участь изобретателя всего менее завидна.

Выводы. Лучшие машины и орудия отечественного производства, представленные на выставках, часто не уступали образцам передовых иностранных фирм. Однако в целом отечественное производство значительно отставало от сельскохозяйственного машиностроения США и Западной Европы.

Выставки и конкурсы, кроме рекламы достижений мирового и отечественного сельхозмашиностроения, знакомили земледельцев с новыми машинами, способствуя их обучению. Но эта учеба была эпизодичной. Систематическое чтение лекций, практические занятия были организованы в петербургском Императорском сельскохозяйственном музее, в губернских и уездных музеях, в средних и низших сельскохозяйственных учебных заведениях.

Библиографический список

1. Миронов Б.Н. Опыт сопоставления некоторых сторон агротехнического уровня земледелия Центральной России начала XVII и второй половины XVIII в. Кишинев. 1966. С. 173-192.

2. Федоров В.А. Наемный труд в земледелии накануне крестьянской реформы 1861 г. (по материалам центрально-промышленных губерний) // Вестник Московского университета. История. 1968. N3. С. 87-88.

3. Вторый В.Ф. Становление сельскохозяйственного машиностроения (XIX век) // Технологии и технические средства производства продукции растениеводства и

животноводства: Сб. науч. тр. СЗНИИМЭСХ. 2009. Вып. 81. С. 203-215.

4. Дмитриев С.С. Возникновение сельскохозяйственных выставок в России // Вопросы истории сельского хозяйства, крестьянства и революционного движения в России: Сб. статей. М. 1961. С. 172-180.

5. Минин П.И. Отечественные сельскохозяйственные машины и орудия на выставках в России // Труды института истории естествознания и техники АН СССР. 1956. Т. 8. С. 231-248.

6. Иофинов С.А. История техники и науки о механизации земледелия. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. 1994. 178 с.

7. Рассказы из истории русской науки и техники / под ред. В. Орлова. М.: Молодая гвардия. 1957. 590 с.

8. Иофинов С.А., Еникеев В.Г., Скробач В.Ф., Шкрабак В.С. Становление агроинженерной науки и образования в России (XIX-XX вв.). СПб.: Химиздат. 1999. 352 с.

9. Данилевский В.В. Русская техника. М.: Газетно-журнальное и книжное изд-во. 1948. 547 с.

10. Яцунский В.К. Основные моменты истории сельскохозяйственного производства в России с XVI века до 1917 года. Кишинев. 1966. С. 162.

11. Ценч Ю.С., Маслов Г.Г., Трубилин Е.Г. К истории развития сельскохозяйственной техники // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. N3(47) С.117-123.

12. Ценч Ю.С., Хомутова Н.С. История создания первого российского трактора // История науки и техники. 2019. N9. С. 36-46.

References

1. Mironov B.N. Opyt sopostavleniya nekotorykh storon agrotekhnicheskogo urovnya zemledeliya TSentral'noy Rossii nachala XVII i vtoroy poloviny XVIII v [Experience of comparison of some aspects of agrotechnical level of agriculture of Central Russia of the beginning of XVII and the second half of XVIII century]. Kishinev. 1966. 173-192 (In Russian).

2. Fedorov V.A. Nayemnyy trud v zemledelii nakanune krest'yanskoy reformy 1861 g. (po materialam tsentral'no-promyshlennykh guberniy) [Wage labor in agriculture on the eve of the peasant reform of 1861 (based on the materials of the Central industrial provinces)]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Istoriya. 1968. N3. 87-88 (In Russian).

3. Vtoryy V.F. Stanovleniye sel'skokhozyaystvennogo mashinostroyeniya (XIX vek) [Formation of agricultural engineering (XIX century)]. Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva: Sb. nauch. tr. SZNIIMESKH. 2009. Iss. 81. 203-215 (In Russian).

4. Dmitriyev S.S. Vozniknoveniye sel'skokhozyaystvennykh vystavok v Rossii [Occurence of agricultural exhibitions in Russia]. Voprosy istorii sel'skogo khozyaystva, krest'yanstva i revolyutsionnogo dvizheniya v Rossii: Sb. statey. Moscow. 1961. 172-180 (In Russian).

5. Minin P.I. Otechestvennyye sel'skokhozyaystvennyye mashiny i orudiya na vystavkakh v Rossii [Domestic agricultural machines and tools at exhibitions in Russia]. Trudy instituta istorii estestvoznaniya i tekhniki AN SSSR. 1956. Vol. 8. 231-248 (In Russian).

6. Iofinov S.A. Istoriya tekhniki i nauki o mekhanizatsii zemledeliya [History of technology and science of mechanization of agriculture]. Saint Petersburg.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 1994. 178 (In Russian).

7. Rasskazy iz istorii russkoy nauki i tekhniki [Stories from the history of Russian science and technology] / ed. by V. Orlov. Moscow: Molodaya gvardiya. 1957. 590 (In Russian).

8. Iofinov S.A., Enikeyev V.G., Skrobach V.F., Shkrabak V.S. Stanovleniye agroinzhenernoy nauki i obrazovaniya v Rossii (XIX-XX vv.) [Formation of agroengineering science and education in Russia (XIX-XX centuries)]. Saint Petersburg.: Khimizdat. 1999. 352 (In Russian).

9. Danilevskiy V.V. Russkaya tekhnika [Russian equipment]. Moscow: Gazetno-zhurnal'noye i knizhnoye izd-vo. 1948. 547 (In Russian).

10. Yatsunskiy V.K. Osnovnyye momenty istorii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva v Rossii s XVI veka do 1917 goda [Highlights of the history of agricultural production in Russia from the XVI century to 1917]. Kishinev. 1966. 162 (In Russian).

11. Tsench Yu.S, Maslov G.G., Trubilin E.G. K istorii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. [To the history of the development of agricultural machinery]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. N3(47) 117-123 (In Russian).

12. Tsench Yu.S., Khomutova N.S. Istoriya sozdaniya pervogo rossiyskogo traktora [History of the first Russian tractor] Istoriya nauki i tekhniki. 2019. N9. 36-46 (In Russian).

УДК: 631.3-87

СТРАТЕГИЯ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ ДО 2030 ГОДА (ПРОГНОЗ)

Захид Адыгезалович Годжаев, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;
Владимир Георгиевич Шевцов, кандидат технических наук, ведущий консультант;
Александр Владимирович Лавров, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Юлия Сергеевна Ценч, кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник;
Валерия Александровна Зубина, младший научный сотрудник, e-mail: lera_zubina@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Государственная активность, связанная с перспективами развития сельскохозяйственного машиностроения, требует обобщения и поиска закономерностей в динамике изменений состояния сельскохозяйственного производства Российской Федерации в 1990-2018 годах с целью повышения эффективности государственной поддержки. (Цель исследования) Выявить основные положения для разработки стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России с целью определения дальнейших перспектив развития отечественного сельхозмашиностроения. (Материалы и методы) Методика проведения исследований заключалась в разработке специализированных баз данных, анализе покупательной способности сельхозтоваропроизводителей с разработкой модели развития сельского хозяйства России на основе создания технологически необходимого тракторного парка. (Результаты и обсуждение) Построили количественно-возрастную структуру тракторного парка сельскохозяйственных организаций с 1987 по 2018 год для выявления сложившейся возрастной структуры современного тракторного парка. Определили закономерность динамики изменений состояния сельскохозяйственного производства Российской Федерации в 1990-2018 годах. Рассмотрели основные положения разработки стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России для определения дальнейших перспектив развития отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Спроектировали модель развития сельского хозяйства на основе формирования технологически необходимого тракторного парка. Предложили план повышения эффективности государственной поддержки восстановления тракторного парка. (Выводы) Теоретической базой развития российского тракторного машиностроения должна стать «Концепция комплексного решения проблем экологической безопасности, энергетической эффективности и экономической конкурентоспособности сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в полном жизненном цикле (на осно-*

ве уменьшения их конструкционной массы и снижения издержек в производстве)», разрабатываемая ВИМ и реализуемая в исходных требованиях на тракторы, предназначенные для первоочередной государственной поддержки при организации их производства.

Ключевые слова: *развитие сельскохозяйственного производства, модернизация сельского хозяйства, тракторный парк, отечественное сельскохозяйственное машиностроение, перспективы развития.*

Для цитирования: *Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Лавров А.В.,Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз) // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 220-229.*

STRATEGY OF RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY MODERNIZATION UNTIL 2030 (FORECAST)

Zakhid A. Godzhaev, Dr.Sc. (Eng.), professor, leading researcher;
Vladimir G. Shevtsov, Ph.D.(Eng.), leading consultant;
Aleksandr V. Lavrov, PhD. (Eng.), leading researcher;
Yuliya S. Tsench, PhD. (Ped.), leading researcher
Valeriya A. Zubina, junior researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract*. The state activity about prospects of development of agricultural mechanical engineering demands generalization and search of regularities in dynamics of changes of a condition of agricultural production of the Russian Federation in 1990-2018 for the purpose of increase of the efficiency of the state support. (Research purpose) The research purpose is to identify the main provisions for the development of the strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia in order to determine the future prospects for the development of domestic agricultural machinery. (Materials and methods) The research methodology consisted in the development of specialized databases, the analysis of the purchasing power of agricultural producers with the development of a model of the development of agriculture in Russia based on the creation of a technologically justified tractor fleet. (Results and discussion) The authors have constructed a quantitative-age structure of the tractor fleet of agricultural organizations from 1987 to 2018 to identify the current structure of the modern tractor fleet. Authors have found the regularity of the dynamics of changes in the state of agricultural production of the Russian Federation in 1990-2018. The article considers the main provisions of the strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia to determine the future prospects of development of domestic agricultural machinery. Authors have designed a model of agricultural development based on the formation of a technologically justified tractor fleet. The article proposes a plan of improving the efficiency of state support to the restoration of the tractor fleet. (Conclusions) The theoretical basis for the development of Russian tractor engineering should be the "Concept of integrated solutions to environmental safety, energy efficiency and economic competitiveness of agricultural mobile energy resources in the full life cycle (based on reducing their construction weight and reducing production*

costs)", developed by the VIM and implemented in the initial requirements for tractors intended for priority state support in the organization of their production.

Keywords: *development of agricultural production, modernization of agriculture, tractor fleet, domestic agricultural engineering, development prospects.*

For citation: *Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu. S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (prognoz) [Strategy of russian agricultural machinery modernization until 2030 (forecast)]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).*

Введение. Наблюдающаяся в настоящее время государственная активность, связанная с перспективами развития сельскохозяйственного машиностроения, требует обобщения и поиска закономерностей в динамике изменений состояния сельскохозяйственного производства Российской Федерации с 1990 по 2018 г. с целью повышения эффективности государственной поддержки.

По данным Минсельхоза РФ, по состоянию на 1 января 2019 г. в агропромышленном комплексе у сельскохозяйственных товаропроизводителей имеется 432,2 тыс. тракторов (на 4,1% или на 18,5 тыс. ед. меньше по сравнению с данными на 1 января 2018 г.), 125,3 тыс. зерноуборочных комбайнов (на 0,5% или на 661 ед. меньше), 17,4 тыс. кормоуборочных комбайнов (на 4,6% или на 832 ед. меньше), на 1 января 2017 г. в АПК органами Гостехнадзора было зарегистрировано 400,9 тыс. тракторов, что на 9 тыс. меньше, чем на 1 января 2016 г.

Доля тракторов со сроком эксплуатации свыше 10 лет составила 59,6% [1]. На конец 2018 г. в сельскохозяйственных организациях (СХО) без учета микропредприятий насчитывалось 211,9 тыс. тракторов, тогда как в конце 2000 г. парк составлял 747 тыс. машин, а в 1990 г. насчитывалось 1365,6 тыс. тракторов. Основная динамика изменения количества тракторов в сельскохозяйственных организациях с 1990 по 2018 г. представлена на *рисунке 1*. Таким образом, за последние 29 лет количество техники сократилось более чем в шесть раз (*рис. 2*). Причем снижение продолжалось все годы подряд, без периодов увеличения [2-4].

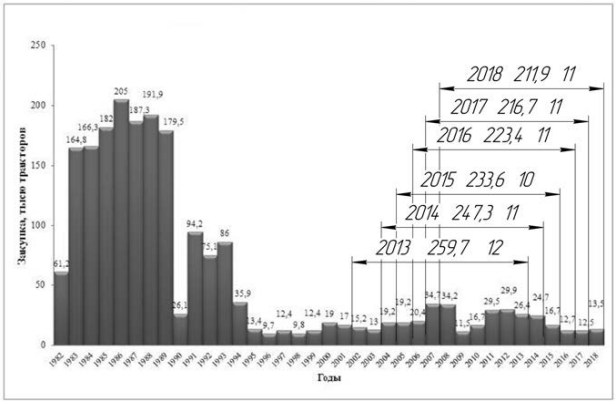


Рис. 1. Формирование количественно-возрастной структуры тракторного парка СХО 1987-2018 гг.

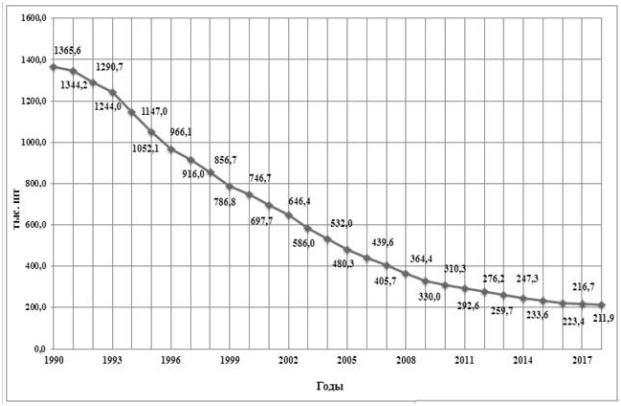


Рис. 2. Официальная информация Росстата об изменении количества тракторов в парке СХО с 1990 по 2018 г.

Цель исследования – выявить основные положения для разработки стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России с целью определения дальнейших перспектив развития отечественного сельхозмашиностроения.

Материалы и методы. Метод состоит в преобразовании и анализе статистических данных о формировании количественно-возрастной структуры тракторного парка сельскохозяйственных организаций с 1987 по 2018 г.

В настоящее время развитие отечественного тракторного машиностроения ограничивают следующие факторы:

1. Отсутствие широкой номенклатуры доступных, прежде всего, отечественных комплектующих, включая современные и перспективные экологически безопасные двигатели, системы и энергетически эффективные двигатели, сцепления, реверсивные коробки передач, задние и передние мосты, гидравлические навесные системы, электрические генераторы и высокомоментные моторы системы управления, автоматизации и микроклимата, позволяющие осуществлять блочно-модульное построение мобильных энергетических средств, сокращая сроки проектирования, изготовления, путем сборочного производства, обеспечивая высокие эксплуатационные качества и решая проблемы унификации.

2. Малая серийность вплоть до выпуска отдельных экземпляров по специальным заказам, которая при высокой технологической потребности ограничивается низким реальным, финансово-обеспеченным спросом сельхозпроизводителей (покупательная способность).

Результаты и обсуждение. Исходя из выявленных проблем развития сельскохозяйственного производства, были составлены основные положения разработки стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России.

1. Сельскохозяйственное производство России необходимо рассматривать как один из элементов такой сложной системы, какой являются сельские территории России.

Происходящее сегодня разрушение сельскохозяйственного производства является первичным в цепи деградации сельского населения со всей социальной инфраструктурой и разрушения природного потенциала. Проблема развития сельскохозяйственного производства переросла в кризис сельских территорий (*табл. 1*).

Таблица 1

Проблема развития сельскохозяйственного производства

Сельские территории России		
Основные элементы		
Природный потенциал	Сельское население и социальная инфраструктура	Сельскохозяйственное производство
Государственные функции		
- природоохранная - экологическая - рекреационная - ресурсообеспечение сельского хозяйства и промышленности	- демографическая - трудоресурсная - социальный контроль над исторически освоенными территориями	-обеспечение продовольственной независимости - создание рабочих мест для сельского населения - создание сырьевой базы для промышленности (обеспечение рабочими местами городского населения)

2. В силу масштабности своих государственных задач и повышенному риску функционирования в прямом контакте с природой и условиях рынка сельскохозяйственное производство должно быть объектом государственного регулирования.

Регулирование должно заключаться в нахождении таких способов и объемов поддержки, которые бы позволили сельскохозяйственному производству быть саморазвивающейся системой (как и любого другого производства или бизнеса в рыночных условиях).

Первым условием такого производства служит обеспеченность собственных работников условиями для воспроизведения рабочей силы, а именно заработной платой не ниже прожиточного минимума. Вторым необходимым признаком саморазвивающегося сельскохозяйственного производства становится вложение ресурсов в сферы долговременного потенциального роста: кадры, плодородие почвы, социальная инфраструктура, технический прогресс и другое. В развитых странах с рыночной экономикой эта поддержка составляет в среднем 37% от объема сельскохозяйственного производства в год.

3. Стержневым моментом машинно-технологической модернизации сельского хозяйства, связанным с ее энергетическим обеспечением, является формирование парка свободных сельскохозяйственных тракторов.

Именно за сокращением тракторного парка с 1990 г. следовали процессы сокращения численности занятости работников (за уменьшением парка тракторов на один трактор, количество занятых работников постоянно сокращалось на 6-6,4 чел.).

Такая же закономерность наблюдается при сокращении пашни с той особенностью, что сначала часть пашни переводится по статистике в залежь, и только через 4-6 лет за сокращением парка тракторов следует статистическое сокращение пашни.

4. Формирование парка сельскохозяйственных тракторов должно рассматриваться с учетом целей и закономерностей функционирования трех типов российских сельхозтоваропроизводителей: хозяйств населения, сель-

скохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств.

В 2016 г. продукция сельского хозяйства (в фактически действовавших ценах) составила 5626,0 млрд руб., из которых 1953,3 млрд руб. (34,7%) – продукция хозяйств населения, 2970,5 млрд руб. (52,8%) – продукция сельскохозяйственных организаций и 702,2 млрд руб. (12,5%) – продукция крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) совместно с индивидуальными предпринимателями. Основным фактором, влияющим на структуру тракторного парка, служит размер полевых участков, на которых должны функционировать МТА [5-7].

4.1. Хозяйства населения, в которых среднегодовая численность всех работников в 2016 г. составляла около 40,0 млн чел., имеют в среднем на каждое 0,14 га пашни. По результатам Всероссийской сельскохозяйственной переписи в этом секторе сельского хозяйства имеется 538 тыс. тракторов с неизвестными характеристиками и неучтенных Технадзором как исправные. В количественном отношении этот парк соответствует 1 трактору на 30 ЛПХ, что свидетельствует о том, что 40 млн чел. заняты малопроизводительным ручным трудом с целью самообеспечения продовольствием.

4.2. Фермерский сектор (совместно с индивидуальными предпринимателями) свои 10% сельскохозяйственной продукции производит, располагая заявленным парком в 190,5 тыс. тракторов с неизвестными характеристиками, при среднем размере пашни 232 га и средней товарности 50-60%. Особенность тракторного парка фермерских хозяйств состоит в его единовременном формировании на кредитные средства в 1991-1993 гг. без последующего обновления, что сегодня привело к его износу более 98%. Основной движущей силой этого сектора сельского хозяйства является предпринимательская активность. Выживание КФХ – предмет политического решения государства, поддержка которого должна быть значительно большей, чем для сельскохозяйственных организаций.

4.3. Сельскохозяйственные организации, которых в 2016 г. насчитывалось 27,5 тыс., имеют каждое в среднем около 2360 га пашни при заявленном тракторном парке 294,8 тыс.

В результате реформ в сельском хозяйстве наметилась устойчивая тенденция к сокращению парка тракторов, который в сельскохозяйственных организациях составил, по данным Росстата на конец 2018 г., 211,9 тыс. свободных тракторов (*рис. 1*). В настоящее время тракторный парк России в своей основе имеет устаревшие модели машин, не соответствующие современным требованиям по расходу эксплуатационных (топлива и масла) и конструкционных материалов, надежности, воздействию на окружающую среду (водный и воздушный бассейны, почву, содержание вредных примесей в отработавших газах), условиям труда, уровню автоматизации и другим показателям. На фоне технического отставания еще острее встают проблемы количественного убывания парка тракторов, который сократился по сравнению с 1990 годом в 6,4 раза (*рис. 2*). Сегодняшний тракторный парк сельскохозяйственных организаций имеет свою историю развития и деградации. В 1990 г. этот парк в результате длительного развития в условиях плановой экономики приблизился к необходимому насыщению в количественном отношении (1384 тыс. тракторов составляли около 80% от технологической потребности) и по своему составу и техническому уровню в основном обеспечивал насущные нужды сельскохозяйственного производства России.

Для дополнения картины особенностей современного состояния механизированного сельхозпроизводства необходимо рассмотреть результаты исследований развития тракторного парка как базового ресурса механизированного производства и в связи с этим оценить эффективность мер господдержки развития сельского хозяйства [6-8].

Государственная поддержка, организованная по отраслевому принципу, при израсходованных 1,008 трлн руб. за 7 лет (с 2008 по 2014 г.) оказалась малоэффективной и не смогла повысить продуктивность сельского хозяйства до уровня простого воспроизводства ресурсов, во-первых, по тракторному парку, который за этот период продолжал уменьшаться и сократился с 364,4 тыс. до 247,3 тыс. тракторов (сокращение составило 117,1 тыс. тракторов или 32%, при этом тракторооснащенность уменьшилась с 5,0 до 3,5 тр/1000 га пашни), что говорит об ущербной продуктивности сельского хозяйства, которая обеспечивается за счет истощения ранее созданных ресурсов [9-10]. Прогноз восстановления ресурсных составляющих сельскохозяйственного производства, а также решения проблем импортозамещения, выполненный на основе раскрытых закономерностей взаимодействия ресурсных составляющих, и взаимосвязи тракторооснащенности с производительностью труда и величиной агропотерь представлен в *таблице 2.*

Таблица 2

Развитие тракторного парка и решение проблем импортозамещения в России

Показатели (целевые инвесторы)	2014 г.			2030 г. (прогноз)		
	СХО	КФХ	ХН	СХО	КФХ	ХН
Объем господдержки, млрд руб./% объема производства всего	нет данных	нет данных	нет данных	1641	99	120
	184/4,2			2400/30,0		
Тракторный парк, тыс. ед.	247,3	70	0	900	425	2000*
Тракторооснащенность, тр/1000 га пашни	3,5	4,7		10,0	28,3	
Количество занятых работников, тыс. чел.	1700	1200	45000	4200	1000	10000
Производительность труда, тыс. руб./чел. год	1100	330	34,6	1600	395	55
Относительный объем механизированных работ, % в среднем по объему	60	40	0	70	60	20
	33			66		
Пашня, млн га всего	65	15	5	90	15	5
	85			110		
Объем производства с.-х. продукции, млрд руб./% от объема, необходимого для продовольственной независимости всего	2055,0/30,2	422/5,3	1747,8/22,1	6900/88,0	395/5,0	553/7,0
	4225,0/53,0			7900,0/100,0		
Баланс питательных веществ, млн т (2013 г.): вынос, за 1 год/за 8 лет внесение, за 1 год/за 8 лет всего, за 1 год/за 8 лет	10,4/75,0 4,4/17,3 -6/-40			20,8 20,8 0		
Импорт продовольствия, млрд долл.**/млрд руб. (% от объема потребления)	39,7/2100 (33%)			29,1/930 (15%)		
Объем потребления, млрд руб. ***	6325			7900		
Степень обеспеченности продуктами по медицинским нормам, %	80			100		

Примечания: мал. габаритные тракторы и мотоблоки;*
*** при курсе 1 долл. = 55 руб.;*
**** без учета остатка.*

В качестве результата по единообразному пониманию проблем развития тракторного парка с решением национальных задач, включая импортозамещение, предлагалось разработать бизнес-план выполнения Государственной программы развития сельского хозяйства с представленными целевыми индикаторами (*рис. 3*).

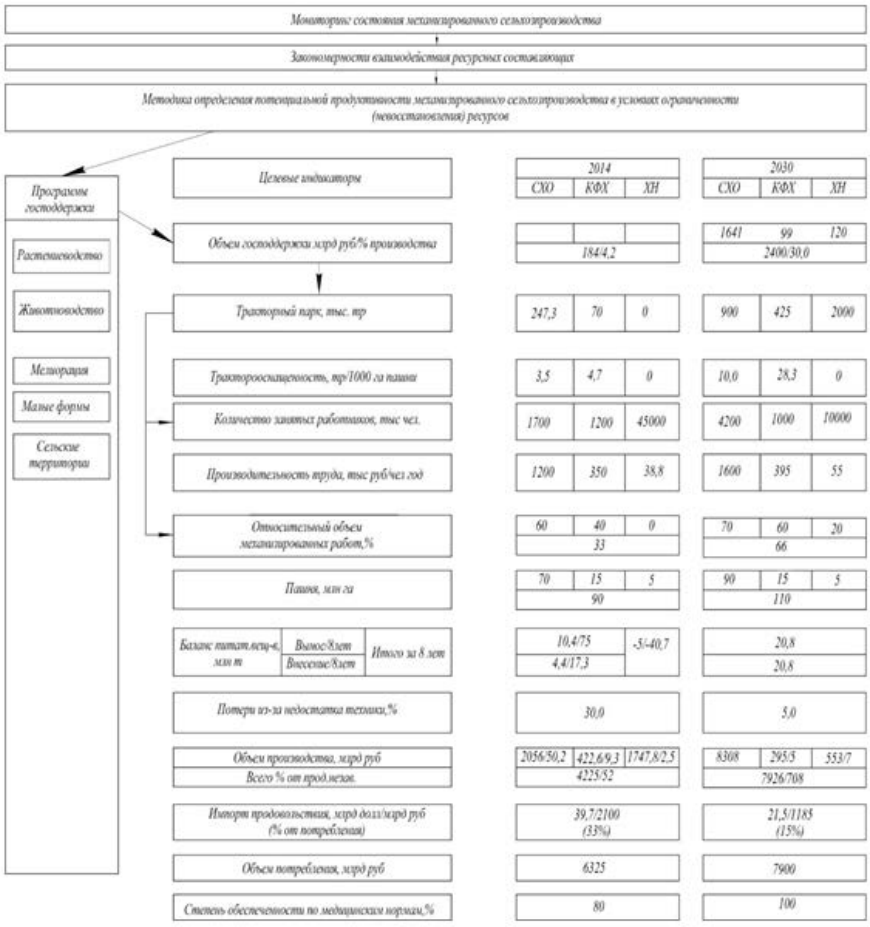


Рис. 3. Методология разработки Государственной программы продовольственного импортозамещения (ресурсовосстановления) России:
** – при курсе 1 долл. = 55 руб.;*
*** – без учета остатка*

Выводы. Теоретической базой развития российского тракторного машиностроения должна стать «Концепция комплексного решения проблем экологической безопасности, энергетической эффективности и экономической конкурентоспособности сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в полном жизненном цикле (на основе уменьшения их конструкционной массы и снижения издержек в производстве)», разрабатываемая ВИМ и реализуемая в исходных требованиях на тракторы, предназначенные для первоочередной государственной поддержки при организации их производства.

Библиографический список

1. Аналитический обзор. Производство автомобильной, тракторной, сельскохозяйственной техники и компонентов к ней производителями России и других стран СНГ (Приложение к журналу «Автомобили, тракторы. Рынок СНГ) / ОАО «Автосельхозмаш-холдинг» Комитет ТПП РФ по предпринимательству в автомобильной сфере. М. 2003-2018.

2. Izmailov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Zubina V. Evaluation of the technical level of modern agricultural tractors represented in the Russian market. SAE Technical Paper. 2018. N1. 1-6.

3. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. SAE Technical Papers. 2015. N9. 1-4.

4. Агропромышленный комплекс России в 2000-2017 году. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. 2018.

5. Зубина В.А. Анализ состояния ресурсного обеспечения сельскохозяйственного производства // Материалы XII Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Волгоград: Волгоградский государственный университет. 2018. С. 320-322.

6. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов, В.Г., Лавров А.В., Гурылев Г.С., Ошеров А.Н. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов в России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. Т. 9. N3. С. 9-14.

7. Шевцов В.Г, Лавров А.В., Зубина В.А., Гурылёв Г.С. Определение эффективности сельскохозяйственного производства при суженном воспроизводстве // Материалы международной научно-технической конференции СФНЦА РАН «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири». Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук. 2017. Т. 1. С. 241-247.

8. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Зубина В.А., Гурылёв Г.С. Принципиальные признаки суженного типа воспроизводства в сельском хозяйстве // Материалы международной научно-технической конференции СФНЦА РАН «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири». Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук. 2017. Т. 1. С. 235-241.

9. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Зубина В.А., Гурылёв Г.С Условия применения системно-воспроизводственного способа определения эффективности сельскохозяйственного производства // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» «ИнформАгро-2017». М.: Росинформагротех. 2017. С. 82-86.

10. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Зубина В.А., Колос В.А. Методика оценки эффективности сельскохозяйственного производства при нарушенном воспроизводстве тракторного парка // Материалы Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве». Минск: БГАТУ. 2017. С. 520-523.

References

1. Analiticheskiy obzor. Proizvodstvo avtomobil'noy, traktornoy, sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i komponentov k ney proizvoditelyami Rossii i drugikh stran SNG (Prilozheniye k zhurnalu «Avtomobili, traktory. Rynok SNG) [Analytical review. Production of automobile, tractor, agricultural machinery and its components by manufacturers of Russia and other CIS countries (Appendix to the magazine "Cars, tractors. CIS market)] / OAO «Avtosel'khozmash-kholding» Komitet TPP RF po predprinimatel'stvu v avtomobil'noy sfere. Moscow. 2003-2018 (In Russian).

2. Izmailov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Zubina V. Evaluation of the technical level of modern agricultural tractors represented in the Russian market. SAE Technical Paper. 2018. N1. 1-6.

3. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A., Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. SAE Technical Papers. 2015. N9. 1-4.

4. Agropromyshlennyy kompleks Rossii v 2000-2017 godu [Agro-industrial complex of Russia in 2000-2017]. Moscow: Ministerstvo sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii. 2018 (In Russian).

5. Zubina V.A. Analiz sostoyaniya resursnogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Analysis of the state of resource provision of agricultural production]. Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh issledovateley. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet. 2018. 320-322 (In Russian).

6. Kryazhkov V.M., Godzhayev Z.A., Shevtsov, V.G., Lavrov A.V., Gurylev G.S., Osherov A.N. Problemy formirovaniya innovatsionnogo parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov v Rossii [Problems of formation of innovative park of agricultural tractors in Russia]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2015. Vol. 9. N3. 9-14 (In Russian).

7. Shevtsov V.G, Lavrov A.V., Zubina V.A., Gurylev G.S. Opredeleniye effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva pri suzhennom vosproizvodstve [Determination of efficiency of agricultural production at the narrowed reproduction]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii SFNTSA RAN «Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye APK Sibiri». Krasnoobsk: Sibirskiy federal'nyy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologiy Rossiyskoy akademii nauk. 2017. Vol. 1. 241-247 (In Russian).

8. Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A., Gurylev G.S. Printsipial'nyye priznaki suzhennogo tipa vosproizvodstva v sel'skom khozyaystve [Principal features of the narrowed reproduction type in agriculture]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii SFNTSA RAN «Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye APK Sibiri». Krasnoobsk: Sibirskiy federal'nyy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologiy Rossiyskoy akademii nauk. 2017. Vol. 1. 235-241. (In Russian).

9. Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A., Gurylev G.S Usloviya primeneniya sistemno-vosproizvodstvennogo sposoba opredeleniya effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Conditions of use of the system-reproductive method in determining the efficiency of agricultural production]. Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-informatsionnoye obespecheniye innovatsionnogo razvitiya APK» «InformAgro-2017». Moscow: Rosinformagrotekh. 2017. 82-86 (In Russian).

10. Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Zubina V.A., Kolos V.A. Metodika otsenki effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva pri narushennom vosproizvodstve traktornogo parka [Methodology for assessing the efficiency of agricultural production in case of impaired reproduction of the tractor fleet]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve». Minsk: BGATU. 2017. 520-523 (In Russian).

УДК 771.313+520.6.07

ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОТЕХНИКИ НА БОРТУ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ИНТЕРЕСАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Дмитрий Юрьевич Щербинин, директор,
кандидат технических наук, e-mail: sdy-press@mail.ru
Институт истории естествознания и техники
им. С.И. Вавилова Российской академии наук
Москва, Российская Федерация

Реферат. *История использования фототехники на борту отечественных пилотируемых космических аппаратов в интересах сельского хозяйства неразрывно связана с историей развития оптических средств дистанционного зондирования. В статье описан подход к делению процесса развития космических бортовых средств регистрации визуальной информации пилотируемых космических аппаратов на основные периоды, качественно отличающиеся друг от друга в соответствии с объективными закономерностями технической эволюции. (Цель исследования) Выявить ключевые моменты технической эволюции фотографических средств, использовавшихся на борту отечественных пилотируемых космических аппаратов в период 1964-2001 гг.; оценить вклад технологий космической съемки в решение сельскохозяйственных задач в указанный период. (Материалы и методы) Основу работы составил метод историзма, предполагающий рассмотрение явления (процесса) в его развитии: зарождении, становлении и угасании. Историзм показывает преемственность между эпохами, каждую из которых надо оценивать с точки зрения ее исторических особенностей и возможностей. (Результаты и обсуждение) Определили, что в своей эволюции средства космической съемки прошли два основных периода исторического развития. Отметили, что на этапе становления осуществили перенос и приспособление фотографической технологии к использованию в условиях космоса; этап использования фотографических технологий характеризуется активным применением фототехники, а также разработкой новых специализированных образцов; в настоящее время происходит переход к цифровым технологиям. Дали описание ключевых моментов развития данных технических средств с 1964 по 2001 год, а также хронологию появления в составе бортового оборудования специализированных и неспециализированных фотосредств, которые наиболее активно использовались на борту пилотируемых космических аппаратов в данный исторический период. (Выводы) Рассмотрели результаты использования мобильных и стационарных фотосредств на космических кораблях и орбитальных станциях. Представили краткое техническое описание фотоаппаратов и фотографических систем, которые использовались для решения ряда сельскохозяйственных задач, показали поэтапное расширение технических возможностей бортовой фототехники для их решения.*

Ключевые слова: *история космической фототехники, дистанционное зондирование, космическая фотосъемка, фотосистема, пилотируемые полеты в космос, многозональный метод.*

Для цитирования: *Щербинин Д.Ю. История использования фототехники на борту пилотируемых космических аппаратов в интересах сельского хозяйства // Технический сервис машин. 2019. N4(137). С. 230-240.*

THE HISTORY OF THE USE OF ONBOARD PHOTOGRAPHIC EQUIPMENTS OF MANNED SPACECRAFTS FOR AGRICULTURE

Dmitriy Yu. Shcherbinin, Director, PhD (Eng.)
S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The history of the use of onboard photographic equipments of domestic manned spacecrafts in the interests of agriculture is inextricably linked with the history of the development of optical remote sensing. The article describes an approach to dividing the development's process of onboard photographic equipments into main periods. The periods qualitatively differ from each other in accordance with the objective laws of technical evolution. . (Research purpose) The research purpose is to identify the key moments of the technical evolution of photographic means used on-board domestic manned spacecraft in the period 1964-2001; to assess the contribution of space survey technologies in solving agricultural problems during this period. (Materials and methods) The basis of the work was the method of historicism, which involves the consideration of the phenomenon (process) in its development: the origin, formation and extinction. Historicism shows the continuity between eras, each of which must be evaluated in terms of its historical features and capabilities. (Results and discussion) It was found that in its evolution, the means of space surveying have passed two main periods of historical development. The article notes that at the stage of becoming it has been carried out the transfer and adaptation of photographic techniques for use in space; the stage of use of photographic technology is characterized by the active use of photography, as well as developing new specialized samples; at present time it is a transition to digital technologies. A description of the key moments in the development of these technical means from 1964 to 2001, as well as a chronology of the appearance of specialized and non-specialized photographic equipment in the onboard equipment, which were most actively used onboard at manned spacecraft in this historical period. (Conclusions) The results of the use of mobile and stationary photographic equipment on spacecraft and orbital stations are presented. The article gives a brief technical description of cameras and photographic systems that were used to solve a number of agricultural problems, shows the gradual expansion of the technical capabilities of on-board photographic equipment to solve them.*

Keywords: *history of space photographic, remote sensing, space photography, photo system, manned space flights, multi-zone method.*

For citation: *Shcherbinin D.Yu. Istoriya ispol'zovaniya fototekhniki na bortu pilotiruyemykh kosmicheskikh apparatov v interesakh sel'skogo khozyaystva [The history of the use of onboard photographic equipments of manned spacecrafts for agriculture]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019. N4(137). 230-240 (In Russian).*

Введение. История использования фототехники на борту отечественных пилотируемых космических аппаратов в интересах сельского хозяйства неразрывно связана с историей развития оптических средств дистанционного зондирования. Подход к делению процесса развития космических бортовых средств регистрации визуальной информации пилотируемых космических аппаратов на основные периоды, качественно отличающиеся друг от друга в соответствии с объективными закономерностями технической эволюции, рассмотрен в данной статье.

Цель исследования – выявить ключевые моменты технической эволюции фотографических средств, использовавшихся на борту отечественных пилотируемых космических аппаратов в период 1964-2001 гг.; оценить вклад технологий космической съемки в решение сельскохозяйственных задач в указанный период.

Материалы и методы. В основу работы положен метод историзма, предполагающий рассмотрение явления (процесса) в его развитии: зарождении, становлении и угасании. Историзм как исследовательский инструмент для понимания прошлого, современного и будущего предполагает поиск первопричин всех текущих явлений в прошлом и прогнозирование грядущих явлений на основании происходящих. Таким образом устанавливается преемственность между эпохами, каждую из которых надо оценивать с точки зрения ее исторических особенностей и возможностей.

В работе использованы материалы архивов Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Института космических исследований РАН, а также публикации и результаты предшествующих исследований по данной тематике.

Результаты и обсуждение. В отечественной пилотируемой космонавтике начало экспериментов в области дистанционного зондирования Земли с использованием фотоаппаратуры связано с полетами пилотируемых космических кораблей серии «*Восход*». Космический аппарат «*Восход-1*» был выведен на орбиту спутника Земли 12 октября 1964 г. Впервые на борту космического корабля находился экипаж из трех космонавтов (В.М. Комаров, К.П. Феоктистов, Б.Б. Егоров), которым предстояло выполнить суточный полет. Программу работы экипажа сформировали с учетом существующих теоретических представлений и результатов выполнения фотографических исследований во время предшествовавших полетов космических кораблей «*Восток-5*» и «*Восток-6*». Среди задач экипажа трехместного корабля было наблюдение и фотографирование поверхности Земли, что и определило основные требования к бортовой аппаратуре для выполнения исследований, среди которых высокое угловое разрешение; одновременность измерений в различных направлениях; малая длительность процесса измерения; достаточно большие угловые размеры поля зрения, подвергаемого изучению; сознательный выбор объекта, времени и условий его съемки; точная фиксация момента и направления съемки; фиксация вспомогательных данных [1]. Для выполнения намеченной программы наблюдений и фотографирования поверхности Земли в состав бортовой аппаратуры корабля «*Восход*» был включен фотоаппарат «Ленинград» со светофильтрами и черно-белой фотографически маркированной пленкой. Фотографирование на цветную пленку использовалось в качестве дополнения исследований. Аппарат разработали в 1953 г. на Государственном оптико-механическом заводе (ГОМЗ), Ленинград (с 1960 г. – Ленинградское оптико-механическое

объединение (ЛОМО) и серийно выпускали в 1956-1966 гг. По своим конструктивным особенностям камера представляла собой полностью оригинальную разработку советского приборостроения и не имела аналогов в мире. Особенность камеры заключалась в наличии заводного пружинного механизма, позволявшего производить автоматическую съемку до 15 кадров за один завод. «Ленинград» обладал удобным прямым оптическим видоискателем, совмещенным с дальномером в одном поле, объективом с ручным управлением фокусом и шторным механическим затвором [2].

Послеполетное географическое и геологическое дешифрирование снимков, полученных с борта космического корабля «*Восход*», позволило сделать выводы о возможности их использования для составления географических и геологических карт, выявления различных геологических структур, изучения по ним различных труднодоступных районов. Снимки могли быть использованы для составления предварительных схематических, геологических и иных карт, содержание которых должно уточняться при проведении соответствующих работ на местности.

С 1964 г. визуальные наблюдения за земной поверхностью и целенаправленное фотографирование природных ландшафтов стали неотъемлемой частью научных программ экипажей советских пилотируемых космических кораблей.

В период 1-19 июня 1970 г. летчики-космонавты А.Г. Николаев и В.И. Севастьянов выполнили полет длительностью более 17 суток на космическом корабле «*Союз-9*». Во время полета были продолжены наблюдения с использованием оптических приборов и фотографирование земной поверхности. Для выполнения исследовательских и прикладных задач разработали специальный фотоаппарат АФА-М-31С (формат кадра 60×70 мм), оснащенный электроприводом и устройством управления – блоком формирования команд. В конструкции камеры использовали объектив «*Руссар-44БМ*» (f=31,6 мм), съемка могла проводиться с выдержками от 1/100 до 1/300 с, камера позволяла выполнить съемку 550 кадров без перезарядки. Для выполнения съемок фотоаппарат устанавливали на иллюминатор космического аппарата с помощью кронштейна. Фотоаппарат разработали специалисты Московского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. По фотографиям, выполненным на борту «*Союз-9*», ученые смогли уточнить геологические карты отдельных районов Земли и определить наиболее вероятные районы для поиска полезных ископаемых, были изучены характеристики океанских течений, по которым упрощается поиск зоопланктона и мест скопления промысловых косяков рыбы. Фотографии атмосферных образований, снежного и ледового покровов были использованы для разработки методов долговременного прогнозирования погоды и методики распознавания моментов возникновения тайфунов. Фотокамера АФА-М-31С использовалась также на борту космических станций «*Салют*», «*Алмаз*», «*Мир*».

Важной вехой в становлении космической фотосъемки в качестве средства для решения прикладных народнохозяйственных задач стал полет первой советской орбитальной станции «*Салют*». На станции выполнили первые экспериментальные съемки земной поверхности, целью которых была оценка возможности использования фотографических методов и средств дистанционного зондирования на орбите, а также для определения круга задач, которые могут быть решены с использованием материалов космиче-

ской фотосъемки. Первая советская долговременная орбитальная станция «*Салют*» выведена на орбиту 19 апреля 1971 г. и до июня выполняла полет без экипажа. Пилотируемый космический корабль «*Союз-11*» стартовал к станции 6 июня 1971 г. с летчиками-космонавтами Г.Т. Добровольским, В.Н. Волковым, В.И. Пацаевым. За 24-суточный полет экипаж выполнил ряд научных и технологических экспериментов, в том числе связанных с получением визуальной информации о поверхности Земли. Был проведен комплексный эксперимент по фотографированию земной поверхности, в котором были задействованы космические и авиационные средства получения фотоизображений. На борту орбитальной станции «*Салют*» съемка выполнялась стационарными камерами АФА-41/20, АФА-М-31, ручными фотоаппаратами Pentacon (*f*=80 мм, формат кадра 60×60 мм) и Зенит-3М (*f*=37 мм, формат кадра 24×36 мм). В стационарных камерах использовали черно-белую фотопленку, в ручных камерах – цветную. На станции также были установлены два модернизированных аэрофотоаппарата АФА-БА (формат кадра 130×180 мм), осуществлявших синхронную съемку земной поверхности и звездного неба.

30 июня 1971 г. космический корабль «*Союз-11*» совершил посадку в казахстанской степи. К сожалению, из-за разгерметизации спускаемого аппарата на этапе спуска экипаж трагически погиб.

Снимки, полученные экипажем на борту орбитальной станции «*Салют*», были проанализированы специалистами Института космических исследований АН СССР и Московского государственного университета.

Результаты дешифрирования материалов подтвердили предположение о возможности использования космических фотоснимков для изучения природной среды и картографирования в интересах различных отраслей народного хозяйства, в том числе для решения сельскохозяйственных задач: определения границ пахотных земель, состояния почв и посевов. Было установлено, что почвенный покров территорий хорошо отражается на среднемасштабных снимках. На них распаханные земли выделяются через дифференциацию в тоне поверхности почвы и в состоянии посевов. Неиспользуемые для земледелия участки имеют характерные признаки в виде рельефа и естественной растительности. На снимках возможно выполнить дифференциацию засоленных почв: солончаки с выцветами солей на поверхности имеют на снимках белый тон, солончаковые луга окрашены светло-серым цветом, солонцы имеют серый тон. Таким образом, существует возможность выделения на снимках засоленных почв среди пахотных земель, что имеет большое практическое значение. На снимках были хорошо различимы изменения механического состава почв. Хорошо дешифрировались массивы эродированных распаханных и залежных земель, которым свойственна мелкоструйчатая текстура рисунка. В виде белых пятен выделялись очаги полной развеянности почв. На космических снимках хорошо отражались признаки растительности, что является индикатором почв, четко дешифрировалось появление среди травянистой растительности кустарниковых зон, повсеместно определялись границы лесной растительности [3].

Анализ полученных снимков показал, что для решения большинства научных и прикладных задач по исследованию Земли из космоса требуется пространственное разрешение снимков не хуже 30 м. Станция «*Салют*» находилась в околоземном космическом пространстве до 11 октября 1971 г. Гибель экипажа «*Союз-11*» заставила в корне пересмотреть концепцию обеспечения безопасности экипажей космических кораблей на этапе спуска и

посадки. Спустя три года пилотируемые полеты возобновили. В результате принятых мер в момент старта на участке выведения, спуска и посадки экипаж использовал индивидуальные средства защиты – скафандры. В связи с использованием скафандров и ограниченными объемами спускаемого аппарата количество членов экипажа было уменьшено до двух человек. Вместе с тем появилась возможность увеличить количество научного оборудования, необходимого для проведения экспериментов на орбите. 27-29 сентября 1973 г. экипаж космического корабля «*Союз-12*» в составе летчиков-космонавтов В.Г. Лазарева и О.Г. Макарова выполнил испытательный полет в скафандрах «*Сокол К*». В этом же полете впервые в истории отечественной космонавтики произвели многозональную фотосъемку фотосистемой ЛКСА-3. Эксперимент повторили во время полета корабля «*Союз-13*» (П.И. Климук, В.В. Лебедев) 18-26 декабря 1973 г. Базовый элемент фотосистемы ЛКСА-3 – 35-мм фотокамера ЛКС с тремя объективами с фокусным расстоянием 50 мм был разработан для съемок на поверхности Луны киевским заводом «*Арсенал*». Центральный межлинзовый затвор обеспечивал съемку с выдержкой до 1/100 с. Камера не имела электрического привода, спуск затвора и перемотка фотопленки осуществлялись вручную. Одновременно можно было получить три кадра, отснятые с различными светофильтрами и диафрагмами. После прекращения работ по лунной программе камеры ЛКС использовали для реализации метода многозональной фотосъемки. Три такие камеры объединили в один блок с электрическим приводом для спуска затвора и перемотки пленки. Для управления режимами съемки разработали специальное электронное устройство. Все камеры заряжали черно-белой фотопленкой, а на объективы устанавливали светофильтры для выбора различных спектральных интервалов. Анализ полученных фотоматериалов показал целесообразность использования космических съемок, выполняемых одновременно в нескольких зонах спектра, для решения многих конкретных задач по исследованию Земли. Многозональный метод нашел развитие в последующих космических программах.

Развитие бортовых средств и методик фотосъемки было продолжено во время полетов орбитальных станций серии «*Салют*». На «*Салют-4*» установили специальные стационарные фотоаппараты КАТЭ-140 (f=140 мм, формат кадра 180×180 мм) и КАТЭ- 500 (f=500 мм, формат кадра 180×180 мм), в которых использовали кассеты с вакуумным выравниванием пленки. Концепция одновременного использования двух синхронно работающих фотокамер позволяла обеспечить широкий захват на местности и детализацию топографических изображений отдельных участков поверхности Земли.

Применение в аппарате КАТЭ-140 широкоугольного высокоточного объектива «*Руссар-43*» (f = 140 мм), обладающего свойством уменьшить падение освещенности на краях поля изображения за счет аберрационного виньетирования, позволяло получать снимки достаточно высокого качества. С орбиты высотой 350-400 км полоса захвата на местности составляла до 460 км. В поле кадра черно-белой пленки впечатывалась символьная информация: номер кадра, координатные метки, метки для учета деформации пленки, а также информация о времени съемки.

Конструкция фотоаппарата КАТЭ-140 состояла из камерной части с центральным апертурным затвором, широкоугольного объектива «*Руссар-43*» со светофильтром, вакуум-помпы для прижима и выравнивания пленки в момент экспонирования, кассеты с устройством для перемотки пленки, пуль-

та управления, обеспечивающего ручное и автоматическое управление аппаратом. К особенностям бортового фотоаппарата КАТЭ можно отнести использование в конструкции независимых приводов для различных его узлов (камерной части, кассеты, пульта управления, затвора, механизма подъема прижимного стола, устройства транспортировки пленки), что свело к минимуму применение механических кинематических устройств и повысило надежность изделия. За десятилетний период эксплуатации на орбите фотокамера КАТЭ-140 хорошо себя зарекомендовала и использовалась в качестве штатной бортовой аппаратуры на орбитальных станциях «*Салют*» и «*Мир*».

Накопленный опыт космической фотосъемки позволил Институту космических исследований АН СССР в кооперации со специалистами предприятия «*Карл Цейс Йена*» (ГДР) приступить к созданию и внедрению в практику исследования Земли многозонального космического фотоаппарата МКФ-6. В процессе его создания разработали метод оптимизации параметров космических фотосистем, предназначенных для исследования Земли. Одновременно с МКФ-6 создали многоканальный синтезирующий проектор МСП-4, предназначенный для преобразования черно-белых зональных снимков в изображения в условных цветах.

Многозональная космическая фотосистема МКФ-6 состояла из камерной части, объединяющей шесть фотоаппаратов с объективами *Пинатар* (f = 125 мм), шести кассет, блока электроники и пульта управления (*рис. 1*). Камерная часть, блок электроники и пульт управления соединялись кабелями между собой, а также с бортовыми сетью питания и системой телеметрии. МКФ-6 была рассчитана на выполнение съемки в спектральном диапазоне 480-840 нм на высотах 200-400 км с перекрытием 20; 60; 80%. Механический привод от одного двигателя обеспечивал высокую синхронность срабатывания затворов шести фотокамер. В конструкции камеры использовался механизм компенсации сдвига изображения, который был предназначен для поворота камеры вокруг оси, расположенной поперек направления полета, что компенсировало появляющийся во время экспонирования сдвиг изображения.

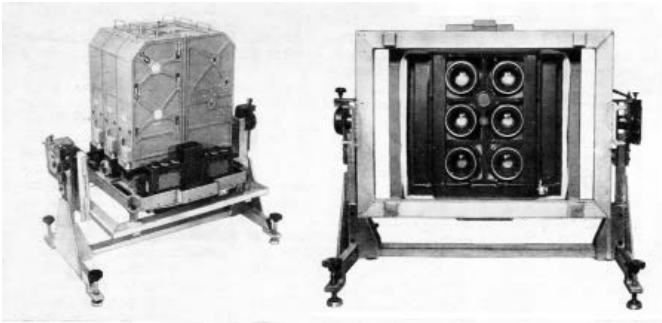


Рис. 1. Внешний вид многозональной космической фотосистемы МКФ-6

Негатив МКФ-6 размером 70×91 мм содержал основное изображение формата 55×81 мм и дополнительную информацию (сенситометрический клин, изображение часов, табло, код выдержки, помер кадра), впечатываемую по краям снимка вне поля основного изображения.

Начало этапа использования фотографических технологий в интересах сельского хозяйства можно отнести к 1976 г., когда летчиками-космонавта-

ми В.Ф. Быковским и В.В. Аксеновым во время полета 15-23 сентября был проведен эксперимент «*Радуга*» на борту космического корабля «*Союз-22*» в рамках летно-конструкторских испытаний фото системы МКФ-6.

Принятое для «*Союза-22*» наклонение орбиты 64,8° обеспечивало возможность фотосъемок до 78% территории СССР и всей территории ГДР. Однако чтобы реализовать эту принципиальную возможность, необходимо было выбрать определенный период обращения космического аппарата и обеспечить освещенность фотографируемых участков территории. Отсутствие благоприятной освещенности на высоких широтах для сентябрьских дат старта «*Союза-22*» стало одной из причин отказа от орбиты с большим наклонением, хотя такой вариант рассматривался (*рис. 2*) [4].

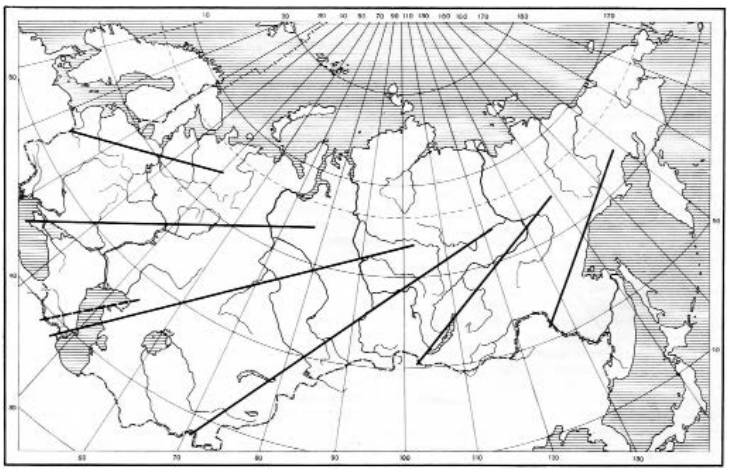


Рис. 2. Базовые трассы космического корабля «Союз-22» для съемки территории СССР фотосистемой МКФ-6

Одной из важных задач эксперимента «*Радуга*» при работах над территорией ГДР была отработка методов и средств дистанционных исследований с аэрокосмических платформ. Планировалось проведение синхронных съемок с «*Союза-22*» и с самолета-лаборатории Ан-30 тестовых полигонов, включающих типичные для ГДР виды природных образований, для последующего использования полученной информации при решении специальных научных и народно-хозяйственных задач. Большое внимание в поставленных задачах уделялось сельскому и лесному хозяйству, вопросам использования многозональных снимков для прогноза урожайности и контроля состояния посевов, определения размеров площадей различных сельскохозяйственных угодий.

В эксперименте использовали методику обработки, опробованную ранее в эксперименте по многозональному фотографированию во время полета «*Союза-12*». Опыт обработки этих материалов позволил внести в нее некоторые уточнения. Снимки, полученные с помощью МКФ-6, обладали хорошими геометрическими и фотометрическими свойствами (разрешение в видимой части спектра до 20 м, в ближней инфракрасной –до 40 м). Однако недостатком, обусловленным небольшим форматом кадра (55×81 мм), стал сравнительно небольшой охват подстилающей поверхности (160×110 км при высоте орбиты 280 км). Космические снимки, полученные в результате эксперимента «*Радуга*», послужили материалом для составления карт зе-

мельных угодий и оценки возможности механизированной обработки полей. Они позволяют судить о системе использования пахотных земель и системе земледелия. На них дешифрируются полезащитные лесополосы, посевы сельскохозяйственных культур, чистые пары, многолетние травы в севооборотах, оросительные системы. Видны нарушения кормовых угодий. Хорошо выделяются различия в ведении хозяйства на территориях отдельных административно-хозяйственных единиц [5].

В дальнейшем модифицированный вариант камеры МКФ-6М успешно использовали на орбитальных станциях «*Салют-6*», «*Салют-7*» и «*Мир*». Аппарат МКФ-6М обеспечивал получение материалов съемки, пригодных для всех видов прецизионной обработки изображений, включая возможность фотометрического и фотограмметрического анализа с использованием цифровых и оптико-электронных методов обработки данных. Был выпущен и самолетный вариант фотосистемы. В процессе многолетней эксплуатации МКФ-6 в космосе и на самолетах по заказам различных научных и хозяйственных организаций были получены тысячи многозональных снимков различных районов Земли. При этом показана эффективность их использования для решения многих научных и прикладных задач.

Международное сотрудничество в области дистанционного зондирования с использованием оптических средств в интересах сельского хозяйства продолжалось в рамках программы Интеркосмос (1978-1988). В ходе совместной работы советско-монгольского экипажа комплекса «*Союз-39*» – «*Салют-6*» – «*Союз-Т-4*» (В.В. Коваленок, В.П. Савиных, В.А. Джанибеков, Ж. Гуррагчаа) выполнили научные исследования и эксперименты, визуальные наблюдения, фотографирование различных районов поверхности Земли и акватории Мирового океана, а также медико-биологические исследования. Среди них был эксперимент «*Биосфера-Мон*» – исследование природных ресурсов путем визуально-инструментальных наблюдений и фотографирования ручными фотоаппаратами, который проводили на борту орбитальной станции в период 24-29 марта 1981 г. Для этих целей использовали фотоаппараты Praktica EE2 и Pentacon Six.

Данный эксперимент включал в себя 14 заданий по наблюдению природных объектов на территории Монгольской народной республики в интересах геологии, народного хозяйства, гляциологии, ландшафтоведения, гидрометеорологии и охраны окружающей среды. В интересах сельского хозяйства было выполнено задание «Зааг» по уточнению границы между зонами сухой степи и полупустыни в Центральной Монголии и задание «Пастбище» по оценке состояния и продуктивности пастбищ, а также изучение засушливых районов, перспективных на поиск подземных вод [6].

Завершение периода использования фотографических технологий и начало нового этапа связано с появлением на борту станции «Мир» модульного оптического многоспектрального стереоскопического сканера MOMS-2P, разработанного Немецким космическим агентством (DLR). MOMS-2P – модульный прибор с пятью оптическими каналами: три предназначены для формирования стереоскопических изображений, два используются для мультиспектральных изображений, один (центральный объектив) используется для данных высокого разрешения. В качестве регистрирующего элемента применили две линейные ПЗС-матрицы по 6000 пикселей, оптически объединенные в фокальной плоскости центральной линзы. Стереоизображение вдоль орбиты формировалось с помощью центрального объектива (канал

5) и двух отклоненных вперед и назад под углом +24,4° к надиру объективов (каналы 6 и 7).

MOMS-2P позволял проводить съемку в следующих режимах: в четырех спектральных каналах обычного разрешения (каналы 1, 2, 3, 4); в двух каналах высокого разрешения (каналы 5А, 5В (частично перекрывающиеся каналы на одном объективе, направленном в надир)); в двух стереоканалах обычного разрешения (каналы 6, 7) (*табл.*) .

Таблица

Основные характеристики каналов оптического модуля MOMS-2P (h=400 км)

Номер канала	Диапазон спектра, нм	Разрешение, м	Поле зрения объективов, °	Охват поверхности, км	Фокусное расстояние объектива, мм
1	449–511	15,9–18,0	15,0	105x50	220
2	532–576	15,9–18,0	15,0	105x50	220
3	645–677	15,9–18,0	15,0	105x50	220
4	772–815	15,9–18,0	15,0	105x50	220
5А, 5В	512–765	6,0–6,0	7,2	60x50	660
6, 7 стерео	524–763	18,0–18,0	13,9	105x50	237

После стыковки модуля «*Природа*» с орбитальным комплексом «*Мир*» 26 апреля 1996 г. и приведения аппаратуры экипажем в рабочее состояние на внешней поверхности орбитальной станции выполнили порядка 20-ти сеансов измерений. В июле 1996 г. произошел отказ аппаратуры. После замены блока питания в декабре 1997 г. и до спуска станции «*Мир*» с орбиты 27 марта 2001 г. аппаратура функционировала штатно.

Несмотря на появление и активное развитие цифровых технологий, пленочные фотокамеры продолжали играть роль основного средства регистрации на борту пилотируемых космических аппаратов при выполнении задач дистанционного зондирования Земли до 2001 г.

Выводы. В результате применения в работе метода исследования – историзма создана периодизация технического развития средств космической съемки на борту пилотируемых космических аппаратов. Критерием периодизации выбрана используемая в бортовом оборудовании технология получения, хранения и передачи оптической информации. Таким образом, в своей эволюции средства космической съемки прошли два основных этапа исторического развития: этап становления и этап использования фотографических технологий. В настоящее время средства для дистанционного зондирования Земли, размещаемые на пилотируемых космических аппаратах, находятся на этапе использования цифровых технологий.

Использование информационного потенциала фотоизображений земной поверхности в интересах сельского хозяйства происходило по мере развития методов и средств космической съемки на борту пилотируемых космических аппаратов.

Библиографический список

1. *Научные исследования, проведенные экипажем корабля-спутника «Восход»: отчет. М. 1966.*
2. *Батурин Ю.М., Щербинин Д.Ю. Ретроспектива кино- и фототехники, используемой при выполнении отечественной пилотируемой программы (1961-2000 гг.) // Вопросы истории естествознания и техники. 2011. N3. С. 87-104.*
3. *Васильев М.П. «Салют» на орбите. М.: Машиностроение. 1973. 160 с.*
4. *«Союз-22» исследует Землю. М.: Наука. 1980. 232 с.*

5. О выполнении космического полета международным экипажем орбитального научно-исследовательского комплекса «Союз-39» – «Салют-6» – «Союз-Т-4»: отчет. Звездный городок: Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина. 1981. 32 с.

6. Herbert J. Kramer Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors. Springer. Technology & Engineering. 2014. N9. 1509.

References

1. Nauchnyye issledovaniya, provedennyye ekipazhem korablya-sputnika «Voskhod»: otchet [Scientific research conducted by the crew of the Voskhod satellite ship: report]. Moscow. 1966 (In Russian).

2. Baturin Yu.M., Shcherbinin D.Yu. Retrospektiva kino- i fototekhniki, ispol'zuyemoy pri vypolnenii otechestvennoy pilotiruyemoy programmy (1961-2000 gg.) [Retrospective of film and photographic equipment used in the implementation of the domestic manned program (1961-2000)]. Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. 2011. N3. 87-104. (In Russian).

3. Vasil'yev M.P. «Salyut» na orbite ["Salute" in orbit]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1973. 160 (In Russian).

4. «Soyuz-22» issleduyet Zemlyu ["Soyuz-22" explores Earth]. Moscow: Nauka. 1980. 232 (In Russian).

5. O vypolnenii kosmicheskogo poleta mezhdunarodnym ekipazhem orbital'nogo nauchno-issledovatel'skogo kompleksa «Soyuz-39» – «Salyut-6» – «Soyuz-T-4»: otchet [On the performing of the space flight by the international crew of the "Soyuz-39"-"Salyut-6"-"Soyuz-T-4" orbital research complex: report]. Zvezdnyy gorodok: TSentr podgotovki kosmonavtov im. YU.A. Gagarina. 1981. 32 (In Russian).

6. Herbert J. Kramer Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors. Springer. Technology. Engineering. 2014. N9. 1509.