ISSN 2618-8287

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

2 (135) 2019

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

№2 (135) 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, научно-технической информации и редакционно-издательской деятельности ФНАЦ ВИМ (vimasp@mail.ru).

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

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

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

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

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

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

Свидетельство о регистрации:

ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 года.

Выходит 4 раза в год.
Подписано в печать 06.06.2019 г., Формат 60 х 84/8. Объем 27,0 п.л., Тираж 100 экз., заказ 949.
Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

«Технический сервис машин» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и международную систему цитирования «AGRIS» для публикации результатов исследований по докторским и кандидатским диссертациям.

Полный перечень статей размещен на сайте научной библиотеки elibrary.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

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

EDITORIAL COUNCIL

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

Lyalyakin V.P. – Doctor of Technical Sciences, Professor – Deputy Chairman, FSAC VIM , chief researcher (valpal-1938@mail.ru).

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

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

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

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

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

Sharifullin S.N. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the branch of Kazan federal university (saidchist@mail.ru).

Keshuov S.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, gene. Director of the Association Kazakh Scientific Research Institute of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan (kazniimesh@yandex.kz).

Gabitov I.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor, rector of Bashkir State Agrarian University (bgau@ufanet.ru).

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

Spitsyn I.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Penza State Agrarian University (penz_gau@mail.ru).

Senin P.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work of the Mordovian State University Named After N.P. Ogarev (vice-rector-innov@adm.mrsu.ru).

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

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

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

Actual address of the editorial office: 109428, Moscow, 1 st Institutsky pr., 5.
Phone: 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: valpal-1938@mail.ru
Certificate of registration:
ПИ №ФС77-72932 from 25.05.2018.
It turns out 4 times a year.
The format is 60x84 / 8. Circulation 100 copies.
Printed in the printing house of the FSBSI FSAC VIM.
Certificate of registration at the National Center.

«Machinery technical service» is included in the Russian Scientific Citation Index (RINC) and the international citation system «AGRIS» for publication of research results on doctoral and candidate dissertations.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ.
РЕМОНТ

Чепурин А.В.
Организация технического сервиса импортных автомобилей 12
Чечет В.А., Егоров В.В.
Основы системного подхода к диагностике тракторных и комбайновых ДВС 19
Свиридов А.С., Тужилин С.П., Лопатина Ю.А.
Концепция цифровой 3D-фермы для использования в ремонтном производстве сельскохозяйственной техники 26
Рябцев В.Г., Волобуев С.В.
Средства восстановления работоспособности модулей памяти систем управления критического применения 33
Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г.
Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы 41
Дунаев А.В., Зернов В.Ю. Воробьев Ю.В. Пустовой И.Ф. Тришкин И.Б.
Инновационные операции повышения ресурса и экономичности изношенной техники при ее техническом обслуживании. 47
Семенова Г.А. Джабборов Н.И.
Обоснование конструктивных параметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов. 60
Дорохов А.С., Корнеев В.М. Катаев Ю.В.
Теоретическая оценка механизма микроударного воздействия воды на нагароотложения в двигателях 67
Пчелкин А.А.
Контроль качества сельскохозяйственной техники при помощи моделей статистической проверки и анализа количественных показателей надежности 75
Очинский В.В., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Зубенко Е.В., Захарин А.В., Лебедев П.А. Марьин Н.А.
Способ механического уничтожения саранчи 81
Славкин В.И., Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р., Апатенко А.С., Махмутов М.М., Садриев Р.Ф.
Лесозаготовительная машина для сохранения лесной экологии при несплошных рубках леса. 87
Грибановский А.П., Рзалиев А.С., Голобородько В.П., Бекмухаметов Ш.Б.
Разработка почвообрабатывающего Посевного комплекса с комбинированной пневмомеханической высевающей системой. 94
Брусенков А.В., Капустин В.П.
Состояние и перспективы развития диагностирования технологического кормоприготовительного оборудования на животноводческих фермах 104

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Дунаев А.В., Фильков М.Н., Павлов О.Г.., Тришкин И.Б.
Исследование и обоснование характеристик порошков геомодификаторов для безразборного ремонта узлов трения машин и оборудования 112
Кутулбаев Х.С.
Оптимизация и выбор параметров коммутирующего дросселя тиристорного источника питания для высокочастотной закалки деталей сельскохозяйственного машиностроения 123
Полуян В.А., Макаров С.С.
Определение предельного размера ножей мясоизмельчительных машин по оптимальному сроку службы 130
Котомчин А.Н. Корнейчук Н.И.
Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов. 135
Гаскаров И.Р., Максютов И.Р., Арсланов В.В., Арсланов А.В.
Исследование свойств покрытий, получаемых электроконтактной приваркой стальной ленты 143
Каперзов А.О., Герасимов В.С., Игнатов В.И.
Возможность использования CALS (ИПИ)-технологий при формировании системы утилизации техники в АПК 151
Иванов В.И., Верхотуров А.Д., Коневцов Л.А.
Методологические аспекты применения электроискрового легирования. Ч. 1. Методология исследования упрочнения и восстановления деталей, получения электроискровых покрытий 158
Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А.
Обеспечение износостойкости композитных покрытий на основе хрома 170
Чавдаров А.В., Толкачев А.А., Скоропупов Д.И.
Применение газодинамического напыления в ремонтном производстве 177

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Ценч Ю.С.
История создания первого российского трактора 184
Лялякин В.П., Огородник И.А.
Из истории развития сервиса машин 198
Карасев А.В.
О выборе рационального типа сельскохозяйственного трактора для России в 1923 г. 208

CONTENTS

MAINTENANCE. REPAIR

Chepurin A.V.
The organization of technical service imported cars 12
Chechet V.A., Egorov V.V.
Bases of system approach to diagnostics tractor and kombaynovykh of DVS. 19
Sviridov A.S., Tuzhilin S.P., Lopatina Yu.A.
The concept digital 3D-farms for use in repair production of agricultural machinery 26
Ryabtsev V.G., Volobuyev S.V.
Reconditioners of modules of memory of control systems of critical application. 33
Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G.
Ecologically safe operation of technical means in the conditions
of physical degradation of the soil 41
Dunayev A.V., Zernov V.Ju., Vorobyov Yu.V., Pustova I.F., Trishkin I.B.
Innovative operations of increase in a resource and profitability
of the worn-out equipment at its maintenance. 47
Semyonova G.A., Dzhabborov N.I.
Justification of constructive parmetr of dynamic soil-cultivating working bodies. 60
Dorokhov A. S., Korneev V.M., Katayev Yu.V.
Theoretical assessment of the mechanism of microshock impact of water on
nagarootlozheniye in engines 67
Pchelkin A.A.
Quality control of agricultural machinery by means of models of statistical check and
analysis of quantitative indicators of reliability 75
Achinsk V.V., Lubedev A.T., Pavlyuk R.V., Zubenko E.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Maryin N.A.
Way of mechanical destruction of the locust. 81
Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Hismatullina Yu.R., Apatenko A.S., Makhmutov M.M., Sadriyev R.F.
Logging machine to preserve forest ecology at selective logging in forests. 87
Gribanovsky A.P., Rzaliyev A.S., Goloborodko V.P., Bekmukhametov Sh.B.
Development of a soil-cultivating sowing complex with the sowing
system combined pneumomechanical. 94
Brusenkov A.V., Kapustin V.P.
The state and the prospects of development of diagnosing of the processing
kormoprigotovitelny equipment on livestock farms. 104

RESTORATION AND HARDENING OF DETAILS

Dunayev A.V., Filkov M.N., Pavlov O.G., Trishkin I.B.
Research and justification of characteristics of powders of geomodifiers
for in-place repair of frictional units of cars and equipment. 112
Kutulbayev H.S.
Optimization and the choice of parameters of the switching throttle
of the thyristor power supply for high-frequency training of details
of agricultural mechanical engineering 123
Poluyan V.A., Makarov S.S.
Determination of the extreme size of knives the myasoizmelchitelnykh
of cars on optimum service life.. 130
Kotomchin A.N., Korneychuk N.I.
Influence of service conditions of road-building cars and specialized motor
transport on a resource of their knots and units. 135
Gaskarov I.R., Maksyutov I.R., Arslanov V.V., Arslanov A.V.
Study on the properties of coatings obtained flash butt welded steel strip. 143
Kaperzov A.O., Gerasimov V.S., Ignatov V.I.
The possibility of using CALS (IPI)-technologies in the formation
of recycling systems in agriculture 151
Ivanov V.I., Verkhoturov A.D., Konevtsov L.A.
Methodological aspects of application of electrospark alloying.
Part 1. Methodology of a research of hardening and restoration of details,
receiving electrospark coverings. 158
Zhachkin S. Yu., Penkov N.A.
Ensuring wear resistance of composite coverings on the basis of chrome. 170
Chavdarov A.V., Tolkachyov A.A., Skoropupov D.I.
The use of gas-dynamic spraying in the repair production. 177

THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Tsench Yu. S.
The history of creation of the first Russian tractor 184
Lyalyakin V.P., Gardener I.A.
From history of development of service of cars. 198
Karasyov A.V.
About the choice of rational type of the agricultural tractor for Russia in 1923. 208

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 (объем 200-250 слов);
- 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: valpal-1938@mail.ru

109428, Москва, 1-й Институтский проезд, дом 1 с отметкой «Технический сервис машин», Лялякину Валентину Павловичу.

Телефоны для справок: 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 (200-250 words);
- keyword;
- bibliographic list.

The article should be structured by specifying the following sections:
- Introduction (relevance);
- Research purpose;
- Materials and methods;
- Results and discussion;
- 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: valpal-1938@mail.ru

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

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

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ. РЕМОНТ

УДК 631.172.2

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ИМПОРТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Александр Васильевич Чепурин, кандидат технических наук, доцент, av.tchepurin@yandex.ru
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Предприятия вынуждены самостоятельно решать все проблемы инженерно-технического обеспечения эксплуатации автотранспорта. (Цель исследования) Рассмотреть вопросы организации технического сервиса и совершенствования производственно-технической базы по обслуживанию импортных автомобилей. (Материалы и методы) Использовали статистические данные по наличию сервисных центров в РФ для импортных автомобилей, по периодичности технического обслуживания в тысячах километров, затраты на техническое обслуживание, цены на основные детали. (Результаты и обсуждение) Выявили, что повышение технической готовности автомобилей, сокращение простоев и снижение ущерба связано с улучшением организации и рациональным использованием производственно-технической базы автотранспортных предприятий. Определили, что на российском авторынке распространены грузовые автомобили и сервисные центры фирм Mersedes-Benz, Renault, Scania, Volvo. Отметили, что представительства зарубежных фирм расширяются практически во всех регионах Российской Федерации. При среднегодовом пробеге автомобиля, равном 100-120 тысяч километров, зарубежные грузовики в основном требуют проведения 1-2 технических обслуживаний, как правило совпадающих с заменой масел. Опыт использования зарубежных автомобилей в условиях Российской Федерации показывает, что за год может возникнуть 1-2 отказа различных групп сложности, чаще всего агрегатов и узлов систем питания топливом или ходовой части. Привели объемы затрат на проведение технического обслуживания и его стоимость за последние 5 лет. (Выводы) Значительная стоимость содержания импортного автотранспорта по сравнению с отечественными машинами компенсируется минимальным пребыванием их в зоне техобслуживания. Рациональная организация технического сервиса обеспечивает повышение коэффициента технической готовности автомобилей, снижение затрат на поддержание парка автомобилей в технически исправном состоянии.*

Ключевые слова: *автотранспорт, технический сервис, фирменный сервис, надежность, коэффициент технической готовности, технический центр.*

Для цитирования*: Чепурин А.В. Организация технического сервиса импортных автомобилей // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 12-18.*

THE ORGANIZATION OF TECHNICAL SERVICE IMPORTED CARS

Alexander V. Chepurin, Ph.D.(Eng.), associate professor
Russian state agrarian University – Moscow agricultural Academy
K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Foreign cars because of its high reliability enter the Russian automotive market. (Purpose of research) Consideration of the organization of technical service and improvement of production and technical base for the maintenance of imported cars. (Materials and methods) We used statistical data on the availability of service centers in the Russian Federation for imported cars, the frequency of maintenance in thousands of kilometers, the cost of maintenance, prices for the main parts. (Results and discussion) Improving the technical readiness of vehicles, reducing downtime and reducing damage is associated with improving the organization and rational use of production and technical base of road transport enterprises. Ongoing intensive saturation of Russian market of trucks and service centers Mercedes-Benz, Renault, Scania, Volvo. As a rule, service centers have warehouses of spare parts, pre-sale and warranty services and retraining courses for drivers to work on foreign cars. Representative offices of foreign firms are rapidly expanding in almost all regions of the Russian Federation. With the average annual mileage of the car equal to 100-120 thousand km, foreign trucks mainly require 1-2 maintenance, usually coinciding with the replacement of oils. The experience of using foreign cars in the conditions of the Russian Federation also shows that in a year there may be 1-2 failures of different groups of complexity, most often units and assemblies of fuel supply systems or chassis. The costs of maintenance and its cost for the last 5 years are given. (Conclusions) Despite the high cost, imported trucks are expanding their presence in the Russian market. The high cost of their maintenance, in comparison with domestic machines, is compensated by the minimum stay of machines in the field of technical service. Rational organization of technical service provides an increase in the coefficient of technical readiness of cars, reducing the cost of maintaining the fleet of cars in good condition.*

Keywords: *transport, technical service, corporate service, reliability, coefficient of technical readiness, technical center.*

For citation: *Chepurin A.V. The organization of technical service of import cars. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 12-18.*

Введение. Повышение конструктивной сложности и стоимости машин требуют значительного улучшения качества технического сервиса, совершенствования производственно-технической базы, рациональных форм и методов организации производства. Переход на рыночные отношения привел систему ТО и ремонта автопарка к развалу. В результате предприятия вынуждены самостоятельно решать все вопросы инженерно-технического обеспечения эксплуатации автотранспорта, выполняющего наибольшие объемы грузоперевозок [1-3].

На сокращение простоев и снижение ущерба в результате срывов выполнения заданий большое влияние оказывает коэффициент технической готовности автомобилей. Эффективными путями повышения коэффициента служит улучшение организации и рациональное использование производственно-технической базы автотранспортных предприятий. Использование

возможностей специализированных участков и рабочих мест ремонтных мастерских автотранспортных предприятий позволяет увеличить пропускную способность ремонтной базы, обеспечить высокий уровень обслуживания автомобилей.

Цель исследования – рассмотреть вопросы организации технического сервиса и совершенствования производственно-технической базы по обслуживанию импортных автомобилей.

Материалы и методы. Наиболее широко зарубежные грузовые автомобили в России представлены фирмами DAF, IVECO, Mersedes-Benz, Renault, Scania, Volvo, Freightliner. О количественном росте автомобильного парка этих зарубежных фирм и перспективах его развития можно судить и по развитию сети их технических центров, станций и представительств (рис. 1). Значительное увеличение объемов внутренних и международных автотранспортных перевозок Российской Федерации, ужесточение требований к безопасности и экологичности автотранспортных средств потребовали от перевозчиков приобретения современных грузовых автомобилей импортного производства.

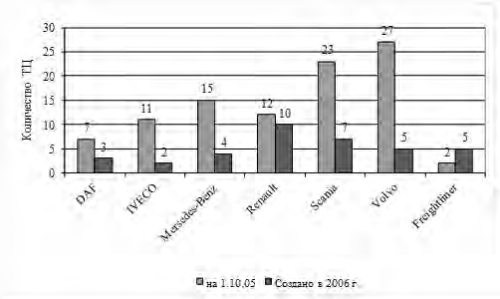


Рис. 1. Динамика развития сервисных центров зарубежных автомобилестроительных фирм в Российской Федерации

Результаты и обсуждение. Интенсивно продолжается насыщение российского авторынка грузовыми автомобилями и сервисными центрами Mersedes-Benz, Renault, Scania, Volvo. При создаваемых сервисных центрах этих фирм наряду с торговыми представительствами, как правило, имеются склады запасных частей службы предпродажного и гарантийного обслуживания и курсы переподготовки водителей для работы на зарубежных автомобилях. До 2006 г. вышеназванные зарубежные фирмы-производители грузовых автомобилей создавали сервисные центры в основном в Москве, Московской области и Санкт-Петербурге. В настоящее время география представительств зарубежных фирм начала быстро расширяться. Они стремятся создать свои представительства и сервисные центры практически во всех регионах Европейской части Российской Федерации и даже Урала [4-7].

Большинство фирм поставляют и реализуют автомобили с руководством по его эксплуатации. Каталоги запасных частей и руководства по ремонту автомобилей зарубежные фирмы поставляют только под заказ или для официальных дилеров фирм [2, 5-8].

Кроме того, технические центры официальных дилеров фирм на основе отдельных договоров обеспечиваются комплектами специального инструмента и приспособлений для организации ТО и ремонта автомобилей, для них может быть организовано обучение ремонтно-обслуживающего персо-

нала. Постепенно зарубежные фирмы-производители, заинтересованные в наращивании объемов реализации грузовых автомобилей в России, увеличивают перечень предоставляемых услуг. Благодаря высокому качеству продукции зарубежные фирмы значительно продвинулись в реализации своих грузовиков на российском рынке. В тоже время импортные автомобили имеют разный уровень надежности и потребности в техническом сервисе (рис. 2, 3). Так, наиболее надежными марками считаются импортные грузовики IVECO и Mersedes-Benz, несмотря на их требовательность к качеству применяемых топливно-смазочных материалов и к дорожным условиям. Остальные марки, кроме Freightliner, имеют примерно равные показатели надежности и требований к условиям эксплуатации.

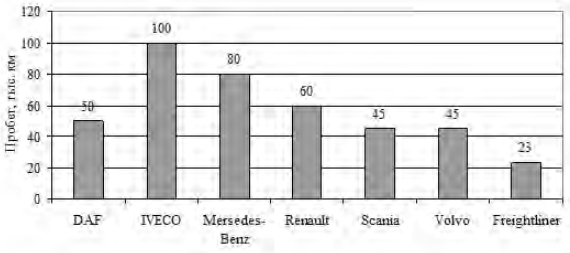


Рис. 2. Периодичность ТО и замены масла, тыс. км

При среднегодовом пробеге автомобиля 100-120 тыс. км зарубежные грузовики в основном требуют проведения 1-2 технических обслуживания, как правило, совпадающих с заменой масел. Опыт использования зарубежных автомобилей в условиях автоперевозчиков Российской Федерации также показывает, что за год могут возникнуть 1-2 отказа различных групп сложности, чаще всего агрегатов и узлов систем питания топливом или ходовой части [9-11].

Исходя из стоимости требуемых для проведения технического обслуживания расходных и смазочных материалов и комплектующих, существенно разнится и величина затрат на проведение ТО (рис. 4).

О величине затрат на ремонтные работы, связанные с устранением последствий отказов различных агрегатов и узлов импортных грузовых автомобилей различных фирм, можно судить лишь косвенно по стоимости выполнения 1 нормо-часа ремонтных работ (рис. 5)

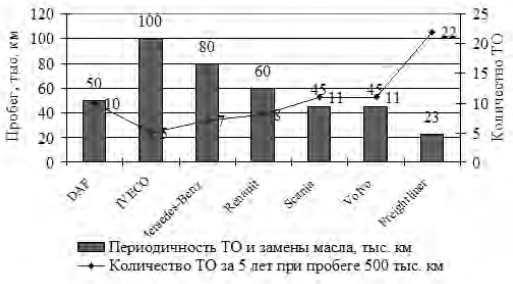


Рис. 3. Периодичность и количество ТО, тыс. км

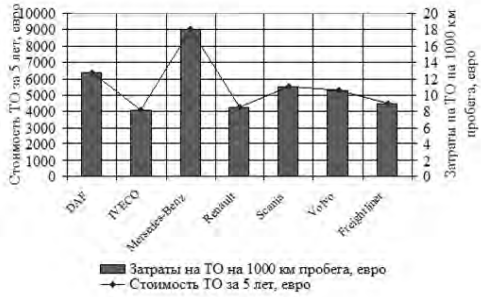


Рис. 4. Затраты на ТО и его стоимость за 5 лет, евро

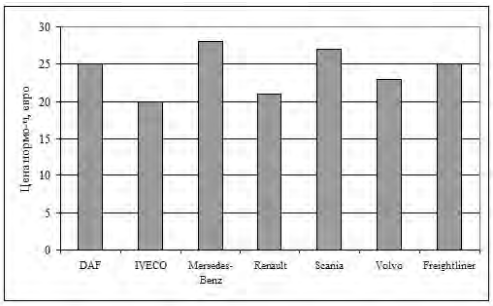


Рис. 5. Цены одного нормо-часа работ по ТО и ремонту, евро

и ценам на основные, пользующиеся повышенным спросом в условиях эксплуатации в Российской Федерации, запасные части и комплектующие для ремонта двигателя и шасси (рис. 6, 7).

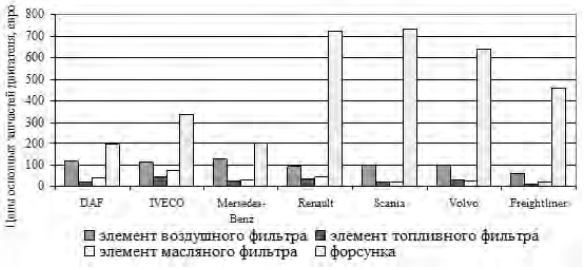


Рис. 6. Цены основных запчастей двигателя, евро

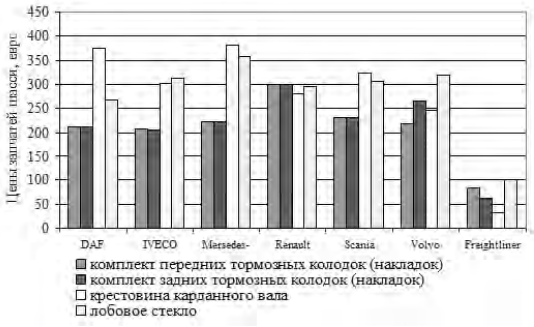


Рис. 7. Цены основных запчастей шасси, евро

Выводы. Таким образом, изначально высокая стоимость импортного автотранспорта на российском рынке по сравнению с отечественными аналогами компенсируется минимальным пребыванием машин в зоне технического сервиса и минимизацией его размеров. Рациональная организация технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей обеспечивает повышение коэффициента технической готовности, сокращение расхода запасных частей, повышение уровня механизации работ по техническому обслуживанию и ремонту, снижение затрат на поддержание парка автомобилей в технически исправном состоянии [2].

Библиографический список

1. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л., Чепурин А.В., Корнеев В.М. Модернизация системы технического сервиса агропромышленного комплекса. М.: МЭСХ. 2015. 440 с.

2. Кушнарев Л.И. Фирменный технический сервис машин и оборудования. Проблемы. Поиски. Решения. Германия: Palmarium academic publishirig. 2014. 210 с.

3. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л. Проблемы модернизации системы инженерно-технического обеспечения агропромышленного комплекса // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N6. С. 37-41.

4. Кушнарев Л.И. Методика обоснования параметров модернизации ремонтно-технической базы предприятий, эксплуатирующих сельхозтехнику // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N6. С. 49-51.

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

6. Кушнарев Л.И., Чепурина Е.Л., Кушнарев С.Л. Проблемы и направления развития инженерно-технического обеспечения сельских товаропроизводителей // Ремонт, восстановление, модернизация. 2016. N1. С. 3-9.

7. Кушнарев Л.И., Чепурин А.В., Ефимов А.С. К повышению качества и надежности отечественных машин и оборудования. Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. М.: Росинформагротех. 2016. 532 с.

8. Кушнарев Л.И. К решению комплексной проблемы повышения надежности машин и оборудования //Ремонт, восстановление, модернизация. 2016. N10. С. 43-49.

9. Кушнарев Л.И. Реновация машин и оборудования на основе фирменного технического сервиса // Доклады ТСХА. 2016. Вып. 288. В 4-х ч. IV. С. 289-294.

10. Кушнарев Л.И. К решению комплексной проблемы повышения надежности машин и оборудования // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 125. С.74-80.

11. Кушнарев Л.И., Алешин В.Ф., Чепурин А.В. Внедрение фирменного технологического сервиса для повышения качества техники // Инновационная наука. 2016. N12-2. С. 80-83.

References

1. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin V.A., Korneev V.M. Modernization of the system of technical service of agriculture. Moscow: MESKH. 2015. 440.

2. Kushnarev L.I. Corporate technical service of machinery and equipment. Problems. Search. Decision. Germany: Palmarium academic publishirig. 2014. 210.

3. Kushnarev L.I., Chepurina E.L. Problems of modernization of system of engineering-technical provision of agroindustrial complex. Tractors and agricultural cars. 2015. N6. 37-41.

4. Kushnarev L.I. The Technique of substantiation of parameters of the modernization, repair and technical base of companies operating agricultural machinery. Tractors and

farm machinery. 2015. N6. 49-51.

5. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnarev S.L. The Quality and reliability of domestic equipment is the basis of its competitiveness. Tractors and agricultural cars. 2015. N11. 35-37.

6. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L. Problems and directions of development of engineering and technical support of agricultural commodity producers. Repair, restoration, modernization. 2016. N1. 3-9.

7. Kushnarev L.I., Chepurin V.A., Efimov A.S. To improve the quality and reliability of Russian machines and equipment. Scientific and information support of innovative development of agribusiness. M.: Rosinformagrotekh. 2016. 532.

8. Kushnarev L.I. To the solution of complex problems of improving the reliability of machinery and equipment. Repair, restoration, modernization. 2016. N10. 43-49.

9. Kushnarev L.I. Renovation of machinery and equipment based on proprietary technical tools. Reports of TSHA. 2016. Iss. 288. In the 4th. Part IV. 289-294.

10. Kushnarev L.I. To the solution of complex problems of improving the reliability of machinery and equipment. Proceedings of GOSNITI. 2016. Vol. 125. 74-80.

11. Kushnarev L.I., Aleshin V.F., Chepurin A.V. The Introduction of corporate technological service to improve the quality of the art. Innovative science. 2016. N12-2. 80-83.

УДК 621.432, 631.372

ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ДИАГНОСТИКЕ ТРАКТОРНЫХ И КОМБАЙНОВЫХ ДВС

Виктор Анатольевич Чечет, кандидат технических наук, профессор кафедры, e-mail: d.chechet@list.ru;
Вячеслав Владимирович Егоров, аспирант
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Набирающая популярность в современном АПК стратегия ТО и ремонта по состоянию требует переосмысления методологии технической диагностики. Эксперименты по внедрению данной стратегии проводились еще в 1970-х годах и успешно себя показали. (Цель исследования) Раскрыть аналитические основы подхода к технической диагностике, синтезирующие системную диагностику как комплекс методов, средств и технологий, оптимизирующих диагностическую деятельность. (Материалы и методы) Описали метод членения диагностируемого объекта, его примерную структуру, характеристики первичных элементов – структурные параметры, для каждого из которых установлены априорная (ожидаемая) вероятность отказа, диагностический параметр и качественные признаки отказа. Раскрыли понятие экспертной системы, привели примеры экспертных систем из смежных отраслей. Отметили, что ни одна из перечисленных экспертных систем не отвечает требованиям агроинженерии в полной мере. (Результаты и обсуждение) Выполнили структурирование тракторного дизеля Д-240, представляющего собой иерархическую систему с преобладанием сильных связей. Привели в качестве примера таблицу структурных параметров для форсунки, таких как: зазор в сопряжении игла – корпус распылителя, подвижность иглы, качество распыливания, давление впрыска. Разработали экспертную систему Exsys, проводящую анализ определенных пользователем качественных признаков отказа с целью выявления доминантного ряда возможных неисправностей. Определили, что по каждой неисправности система отображает краткую справку, включающую руководство по дальнейшему диагностированию при помощи индикаторных методов. (Выводы) Внедрение системной диагностики дает возможность повышения надежности и долговечности автотракторных и комбайновых дизелей путем управления их техническим состоянием в эксплуатации, что в свою очередь повышает коэффициент готовности технических средств АПК и обеспечивает их ресурсосбережение в широком спектре его показателей.*

Ключевые слова: *техническая диагностика, двигатель внутреннего сгорания, экспертная система, индикаторные методы, системный подход.*

Для цитирования: *Чечет В.А., Егоров В.В. Основы системного подхода к диагностике тракторных и комбайновых ДВС // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 19-25.*

BASES OF SYSTEM APPROACH TO DIAGNOSTICS TRACTOR AND KOMBAYNOVYKH OF DVS

Viktor A. Chechet, Ph.D.(Eng.), professor of department, e-mail: d.chechet@list.ru;
Vyacheslav V. Egorov, graduate student
Russian state agrarian University – Moscow agricultural Academy
K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Abstract. *A strategy of maintenance and repair by technical condition that gains popularity in modern agro-industrial complex requires rethinking of technical diagnostics methodology. Experimental implementation of that strategy was yet carried out in 1970s and resulted positively. (Research purpose) To open the analytical bases of approach to technical diagnostics synthesizing system diagnostics as a complex of the methods, means and technologies optimizing diagnostic activity. (Materials and methods) The authors describe method of diagnostic object subdivision, its approximate structure and elements characteristics (structural parameters). Prior (expected) probability, diagnostic parameter and fault quality indi cators are stated for each structural parameter. The expert system (ES) concept is revealed with examples of expert systems for related industries. No one of ES listed meets the requirements of agri-engineering. (Results and discussion) According to the results of research conducted, authors completed the structuring of tractor diesel engine D-240 which is hierarchic system with prevailing strong relations. As example of element there is presented the fuel injector structural parameters table which contains such parameters as: clearance between needle and spray housing, needle movability, atomizing quality, injection pressure. The structural parameters tables obtained are transformed (by series of algorithms) to databases for Exsys expert system designed by authors. This ES analyses a row of user-defined fault quality indicators (symptoms) with a task of revealing a dominant row of probable faults. Each fault has its short reference information in Exsys which includes guide for further diagnosting by indicator methods. (Conclusion) Introduction of system diagnostics also the kombaynovykh of diesels by management of their technical condition in operation gives the chance of increase in reliability and durability autotractor that in turn increases availability quotient of technical means of agrarian and industrial complex and provides their resource-saving in a wide range of its indicators.*

Keywords: *technical diagnostics, internal combustion engine, expert system, indicator methods, systemic approach.*

For citation: *Chechet V.A., Egorov V.V. Bases of system approach to diagnostics tractor and kombaynovykh of DVS. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 19-25.*

Введение. В условиях рыночной экономики наиболее приемлема стратегия технического обслуживания и ремонта по состоянию (планово-предупредительная). Однако ее полная реализация возможна лишь при условии применения современных методов оперативной диагностики в условиях рядовой эксплуатации.

Ранний концепт данной стратегии заложили в середине 1960-х и экспериментально подтвердили в 1970-1971 гг. в ходе поставленного советскими учеными В.М. Михлиным и В.И. Бельских так называемого «Богодуховского эксперимента» по предремонтному диагностированию тракторных дизелей [1]. Результатом стало снижение объема капитальных ремонтов на

40-50%. Существовавшие на тот момент методы диагностирования были достаточно ограничены, поэтому дальнейшего распространения данная стратегия не получила; также сказалась невозможность изменения существовавшей тогда общей плановой стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОР).

В современных условиях стратегия ТОР по состоянию вновь стала актуальной, поскольку она позволяет добиться большего снижения прогрессирующих издержек на простои и топливо-смазочные материалы, более полного использования ресурса машин АПК и транспорта, где, к примеру, недоиспользование ресурса элементов и составных частей ДВС составляет 35-45% [2, 3].

Одним из основополагающих элементов вновь выстраиваемой стратегии ТОР по состоянию служит так называемая системная техническая диагностика.

Цель исследования – раскрыть аналитические основы подхода к технической диагностике, синтезирующие системную диагностику как комплекс методов, средств и технологий, оптимизирующих диагностическую деятельность.

Материалы и методы. Системный подход в технической диагностике. На данный момент техническая диагностика как научная дисциплина недостаточно упорядочена как в теоретическом, так и в прикладном рассмотрении и поэтому обладает сниженным потенциалом.

Представлены основы системной диагностики как дифференцированный трехуровневый комплекс методов, средств и технологий, направленных на оптимизацию алгоритмов оперативной диагностики [4]. К первому уровню относят органолептические методы, ко второму и третьему – индикаторные и углубленные.

Структурированию в рамках данной методологии подвергаются и объекты диагностирования. Согласно положениям системного анализа в контексте данной методологии диагностируемый объект расчленяется на системы, подсистемы *n*-го уровня и первичные элементы [5]. С точки зрения рассматриваемой концепции дизель представляет собой систему с преобладающими сильными связями. Предел дискретизации структуры (первичные элементы) определяется по целесообразности дальнейшего членения, т.е. дальнейшее деление неразборного элемента (фильтры, электронные блоки управления) становится бессмысленным. Для таких объектов установлен конечный набор структурных параметров, непосредственно определяющих их техническое состояние. Для каждого структурного параметра вводится априорная (ожидаемая) вероятность отказа в зависимости от эксплуатационных факторов, таких как наработка, предремонтное или послеремонтное состояние объекта, особые условия эксплуатации, качество топливно-смазочных материалов и т. п. Структурные параметры, априорные вероятности, диагностические параметры и качественные признаки структурируются в виде матрицы. В дальнейшем полученные базы данных используются при создании экспертной системы (ЭС) диагностирования, рассматриваемой ниже. Экспертные системы технической диагностики относятся к элементам искусственного интеллекта и позволяют заменять или дополнять интеллектуальную деятельность человека, в данном случае диагноста или механика, частично восполняя возможный недостаток знаний и ускоряя процесс обнаружения неисправностей.

В агроинженерии первым появлением экспертной системы можно счи-

тать диссертационную работу С.А. Кононогова (ГОСНИТИ, 1990). Однако уже тогда автор данной системы выявил недостаточную эффективность примененного алгоритма Байеса для технической диагностики.

В настоящее время экспертные системы технической диагностики разрабатывают, например, для станочного оборудования, судовых дизелей и регуляторов газотурбинных двигателей [6-9]. ЭС создают и для автомобильного транспорта, в том числе для ДВС автомобильного форм-фактора [10, 11]. По ряду причин данные системы также не удовлетворяют требованиям к экспертной системе для нужд агроинженерии. Некоторые из них представляют собой лишь модель, существующую только внутри специализированных расчетных комплексов, таких как Matlab [12].

Результаты и обсуждение. Структурирование дизеля Д-240. Рассмотрим предложенный выше системный подход применительно к диагностированию дизеля Д-240 в виде блок-схемы членения, выделив в ней ветвь топливной аппаратуры высокого давления (рис.).

Рис. Схема членения дизеля Д-240, ветвь СТВД

Далее рассмотрим форсунку как частный объект диагностирования. В иерархическом построении дизеля форсунка служит классической составной частью, которая характеризуется рядом структурных параметров состояния (табл.).

Для перехода к органолептическим методам диагностики априорные вероятности обрабатывают по ряду алгоритмов и используют в базах данных экспертной системы. Экспертная система Exsys. Авторами разработана и совершенствуется экспертная система технической диагностики Exsys, использующая открытые базы данных. На текущем этапе базы данных сформированы для тракторов МТЗ-82, МТЗ-2022, ЮМЗ-6, Т-150К. Интерфейс и некоторые закономерности работы системы отражены в [4].

Экспертная система предлагает пользователю указать наблюдаемые качественные признаки и силу их проявления по четырехступенчатой градации (этот показатель позволяет добиться повышения точности диагноза), после чего отображает список возможных неисправностей в порядке убывания их апостериорных вероятностей. По каждой неисправности выдается краткая справка, в том числе включающая рекомендации по индикаторному диагностированию.

Таблица

Структурные и диагностические параметры форсунки

Элемент	Структурный параметр	Априорная вероятность отказа	Диагностический параметр	Качественные признаки отказа
Форсунка	Зазор в сопряжении игла – корпус распылителя	0,3	Скорость падения давления	Падение мощности, неравномерность работы цилиндров
	Подвижность иглы	0,1	Осциллограмма вибрации на малых оборотах	Пропуски подачи, стуки
	Качество распыливания	0,25	Осциллограмма давления, звучность впрыска	Чёрный или темно-серый цвет выхлопа, недостаток мощности, затруднённый пуск в холодное время
	Давление впрыска	0,2	Давление подъёма иглы	Чёрный или темно-серый цвет выхлопа

К индикаторной диагностике относятся экспресс-методы, реализуемые, как правило, без подразборки объекта. Подобные методы могут служить для диагностирования топливной системы, в том числе Common Rail, динамической диагностики ДВС, определения состояния выпускной системы [13-15]. Также специалисты изучают эффективность применения бортовых систем для получения диагностической информации [16]. Использование цифровых продуктов позволяет передавать часть информации о состоянии объекта на пункт ТО [17].

Выводы. Внедрение системной диагностики дает возможность повышения надежности и долговечности автотракторных и комбайновых дизелей путем управления их техническим состоянием в эксплуатации, что в свою очередь повышает коэффициент готовности технических средств АПК и обеспечивает их ресурсосбережение в широком спектре его показателей [18].

Описанные в работе методы анализа применяют для создания баз данных экспертной системы технической диагностики *Exsys*, направленной на выявление неисправностей и предлагающей рекомендации по их устранению.

Библиографический список

1. Бельских В.И. Показатели технического состояния тракторов и средства для их определения // Техника в сельском хозяйстве. 1971. N9. С. 70-73.

2. Андриян К.Э., Курсин Д.А. Анализ и планирование технического обслуживания и ремонта сложного объекта на основе его функционального состояния // Наука и образование. 2011. N8. С. 11-20.

3. Данилов Ю.И., Денисов А.С., Данилов И.К. Совершенствование планирования эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания // Вестник Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина. 2013. N1 (69). С. 230-234.

4. Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н., Егоров В.В. Основные положения системной диагностики машин // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина. 2018. N6 (88). С. 51-55.

5. Кричевский А.И. Основы системного анализа. Курс лекций. Новосибирск: Новосибирский государственный университет экономики и управления. 2009. 136 с.

6. Каракозова А.В., Игнатьев А.А. Предпосылки создания экспертной системы для контроля динамического состояния шлифовальных станков // Вестник Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина. 2011. N3 (58). Вып. 2. С. 171-177.

7. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на

основе нечеткой логики // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. N1(150). С. 83-92.

8. Жернаков С.В., Кобылев С.В. Использование рекуррентных нейросетей в задаче диагностики технического состояния гидромеханического автомата разгона // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. N3 (43). С. 142-156.

9. Czech P., Wojnar G., Burdzik R., Konieczny Ł., Warczek J. Application of the discrete wavelet transform and probabilistic neural networks in IC engine fault diagnostics. Journal of Vibroengineering. 2014. Vol. 16. Iss. 4. C. 1619-1639.

10. Salama A. Mostafa, Mohd Sharifuddin Ahmad, Mazin Abed Mohammed, Omar Ibrahim Obaid. Implementing an Expert Diagnostic Assistance System for Car Failure and Malfunction. IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2012. Vol. 9. Iss. 2. N2. 1-7.

11. Hans R. DePold, F. Douglas Gass. The Application of Expert Systems and Neural Networks to Gas Turbine Prognostics and Diagnostics. ASME 1998 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, Stockholm, Sweden. 1998. Vol. 5.

12. Егоров В.В. Экспертная и индикаторная техническая диагностика в АПК, их интеграция. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2018. С. 260-264.

13. Сенин П.В., Галин Д.А. Диагностика форсунок топливной системы Common Rail // Нива Поволжья. 2016. N4 (41). С. 113-120.

14. Трюбер С.С. Диагностика мощных дизельных двигателей по неравномерности частоты вращения // Вестник Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина. 2007. N4. С. 54-71.

15. Плаксин А.М., Гриценко А.В., Бисенов С.Э., Глемба К.В., Лукомский К.И. Диагностирование системы выпуска двигателей внутреннего сгорания путем контроля сопротивления выпускного тракта // Фундаментальные исследования. 2014. N8-2. С. 322-326.

16. Гриценко А.В. Разработка средств и методов диагностирования с частично параллельным резервированием элементов, а также с устранением лишних диагностических операций и диагностических параметров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. N7. С. 120-125.

17. Иванов А.С., Ляненбурский В.В., Рыбакова Л.А. Тактика технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей на основе встроенного диагностирования // Нива Поволжья. 2014. N3(32). С. 55-61.

18. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос. 1984. 335 с.

References

1. Bel'skih V.I. Indicators of tractors' technical condition and means of their detection [Pokazateli tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov i sredstva dlya ih opredeleniya]. Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 1971. N9. 70-73.

2. Andriyan K.E., Kursin D.A. Analysis and planning of complex object maintenance basing on its functional condition [Analiz i planirovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta slozhnogo ob"ekta na osnove ego funkcional'nogo sostoyaniya]. Nauka i obrazovanie. 2011. N8.11-20.

3. Danilov Yu.I., Denisov A.S., Danilov I.K. Improving maintenance cycles of internal combustion engines [Sovershenstvovanie planirovaniya ehkspluatacionno-remontnyh ciklov dvigatelej vnutrennego sgoraniya]. Bulletin of the Saratov state technical university of Yu.A. Gagarin. 2013. N1 (69). 230-234.

4. Chechet V.A., Levshin A.G., Skorohodov A.N., Egorov V.V. Fundamentals of systematic diagnostics of machines [Osnovnye polozheniya sistemnoj diagnostiki mashin]. Vestnik of

Moscow Goryachkin Agroengineering University of V.P. Goryachkin. 2018. N6(88). 51-55.

5. Krichevskij A.I. The basics of system analysis. Lecture course [Osnovy sistemnogo analiza. Kurs lekcij]. Novosibirsk: Novosibirsk State University of Economics and Management. 2009. 136.

6. Karakozova A.V., Ignat'ev A.A. Background for developing an expert system for controlling the dynamic state of grinding machines [Predposylki sozdaniya ehkspertnoj sistemy dlya kontrolya dinamicheskogo sostoyaniya shlifoval'nyh stankov]. Bulletin of the Saratov state technical university of Yu.A. Gagarin. 2011. N3 (58). Iss. 2. 171-177.

7. Polkovnikova N.A., Kurejchik V.M. Developing fuzzy-logic based expert system model [Razrabotka modeli ehkspertnoj sistemy na osnove nechyotkoj logiki]. News of Southern Federal University. Tekhnicheskie nauki. 2014. N1(150). 83-92.

8. Zhernakov S.V., Kobylev S.V. Using recurrent neural networks in the task of diagnosting the technical condition of hydromechanical acceleration unit [Ispol'zovanie rekurrentnyh nejrosetej v zadache diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya gidromekhanicheskogo avtomata razgona]. Bulletin of the Ufa state aviation technical university. 2011. N3 (43). 142-156.

9. Czech P., Wojnar G., Burdzik R., Konieczny Ł., Warczek J. Application of the discrete wavelet transform and probabilistic neural networks in IC engine fault diagnostics. Journal of Vibroengineering. 2014. Vol. 16. Iss. 4. 1619-1639.

10. Salama A. Mostafa, Mohd Sharifuddin Ahmad, Mazin Abed Mohammed, Omar Ibrahim Obaid. Implementing an Expert Diagnostic Assistance System for Car Failure and Malfunction. IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2012. Vol. 9. Iss. 2. N2. 1-7.

11. Hans R. DePold, F. Douglas Gass. The Application of Expert Systems and Neural Networks to Gas Turbine Prognostics and Diagnostics. ASME 1998 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, Stockholm, Sweden. 1998. Vol. 5.

12. Egorov V.V. Expert and indicator technical diagnostics in agri-industrial complex, their integration [EHkspertnaya i indikatornaya tekhnicheskaya diagnostika v APK, ih integraciya]. Moscow: Russian state agrarian University – Moscow agricultural Academy K.A. Timiryazev. 2018. 260-264.

13. Senin P.V., Galin D.A. Diagnosting of Common Rail fuel injectors [Diagnostika forsunok toplivnoj sistemy Common Rail]. Field of the Volga region. 2016. N4 (41). 113-120.

14. Tryuber S.S. Diagnostics of powerful diesel engines by irregularity of rotation frequency [Diagnostika moshchnyh dizel'nyh dvigatelej po neravnomernosti chastoty vrashcheniya]. Bulletin of the Saratov state technical university of Yu.A. Gagarin. 2007. N4. 54-71.

15. Plaksin A.M., Gricenko A.V., Bisenov S.E. Glemba K.V., Lukomsky K.I. Diagnosting internal combustion engine exhaust system by means of controlling an exhaust tract resistance [Diagnostirovanie sistemy vypuska dvigatelej vnutrennego sgoraniya putyom kontrolya soprotivleniya vypusknogo trakta]. Basic researches. 2014. N8-2. 322-326.

16. Gricenko A.V. Developing of diagnostical means and methods with partly parallel element backup as well as elimination of excess diagnostical operations and diagnostical parameters [Razrabotka sredstv i metodov diagnostirovaniya s chastichno parallel'nym rezervirovaniem ehlementov, a takzhe s ustraneniem lishnih diagnosticheskih operacij i diagnosticheskih parametrov]. Bulletin of the Krasnoyarsk state agricultural university. 2012. N7. 120-125.

17. Ivanov A.S., Lyandenburskij V.V., Rybakova L.A. Tactics of automobile maintenance on base of onboard diagnostics [Taktika tekhnicheskogo obsluzhivaniya i tekushchego remonta avtomobilej na osnove vstroennogo diagnostirovaniya]. Field of the Volga region. 2014. N3 (32). 55-61.

18. Mihlin V.M. Farming machinery reliability management [Upravlenie nadezhnost'yu sel'skohozyajstvennoj tekhniki]. Moscow: Kolos. 1984. 335.

УДК 621.01

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ 3D-ФЕРМЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

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

Реферат. *Ремонтные предприятия не всегда могут восстановить работоспособность неисправного узла, восстановив работоспособность детали. Зачастую для восстановления узла необходимо заменить изношенные детали. Однако приобретение и доставка запасных частей могут оказаться сложной задачей ввиду преобладающей доли использования импортной техники во многих отраслях, включая сельское хозяйство. (Цель исследования) Оценить возможность повышения эффективности ремонтных предприятий, ориентированных на восстановление деталей и узлов из полимерных и композиционных материалов, за счет внедрения на производстве концепции цифровой 3D-фермы. (Материалы и методы) Проанализировали данные об использовании концепции цифровой 3D-фермы на различных предприятиях машиностроительной отрасли, в том числе опыт применения этой концепции на базе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Методом исследования стал сбор, изучение и сравнительный анализ информации. (Результаты и обсуждение) Выявили, что оборудование, необходимое для реализации концепции цифровой 3D-фермы, более дешево и универсально по сравнению с оборудованием, применяемом в настоящее время на предприятиях. Определили, что оно позволяет получать изделия более сложной формы за меньшие промежутки времени. (Выводы) Концепция цифровой 3D-фермы за счет применяемого оборудования и технологий более эффективна по сравнению с традиционными методами обработки и производства с точки зрения сложности изготавливаемых деталей, их номенклатуры и производительности. Однако ввиду определенной специфики и ограничений внедрение этой концепции на предприятиях, в том числе ремонтных, затруднено.*

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

Для цитирования: *Свиридов А.С., Тужилин С.П., Лопатина Ю.А. Концепция цифровой 3D-фермы для использования в ремонтном производстве сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 26-32*

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

Alexey S. Sviridov, junior researcher, sviridef4@yandex.ru;
Sergey P. Tuzhilin, engineer;
Yulia A. Lopatina, research associate
Federal scientific agroengineering center VIM, Moscow, Russian Federation

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

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

For citation: *Sviridov A. S., Tuzhilin S.P., Lopatina Yu.A. The concept of a digital 3D-farm for use in the repair of agricultural machinery //Technical service of cars. 2019. N2 (135). 26-32.*

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

Наибольшее распространение получили 3D-фермы с принтерами, рабо-

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

Технология SLA (от англ. stereolithography – стереолитография) основана на послойном отверждении жидкого полимера под воздействием излучения лазера или проектора. Основные преимущества данной технологии заключаются в возможности изготовления изделий любой сложности (тонкостенные, мелкие детали), высокой точности и качестве поверхности изделий, максимальных механических свойствах, низком расходе материалов. Расходным материалом для данной технологии служит фотополимер – вещество, изменяющее свойства при воздействии ультрафиолетового излучения. Точность полученного изделия во многом зависит от непрозрачности применяемого фотополимера, обуславливающей отсутствие рассеивания света при полимеризации примыкающего к модели материала. Толщина слоя для данной технологии варьируется в пределах от 0,05 до 0,13 мм [3, 4].

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

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

В данной работе рассмотрена концепция 3D-фермы, целью создания которой стало повышение эффективности ремонтного производства, состоящая из участков 3D-сканирования, 3D-печати и финишной обработки изделий. Использование подобной 3D-фермы позволяет повысить эффективность ремонтных работ, связанных с заменой изношенных полимерных и композитных деталей агрегатов и машин. Кроме того, использование 3D-сканеров позволяет увеличить эффективность работ, связанных с обратным проектированием, и диагностики, что является актуальным для ремонта импортной техники.

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

Материалы и методы. Материалом данного исследования стали данные

об использовании концепции цифровой 3D-фермы на различных предприятиях машиностроительной отрасли. Кроме того, в качестве материала рассмотрели опыт применения этой концепции на базе ВИМа. Метод исследования заключался в сборе, изучении и сравнительном анализе информации.

Результаты и обсуждение. Основное преимущество технологий 3D-печати – возможность создания изделий сложной формы. Среди традиционных методов производства подобных изделий можно выделить так называемый «вычитающий» метод фрезерования деталей на многокоординатных станках с ЧПУ, а также разнообразные виды литья.

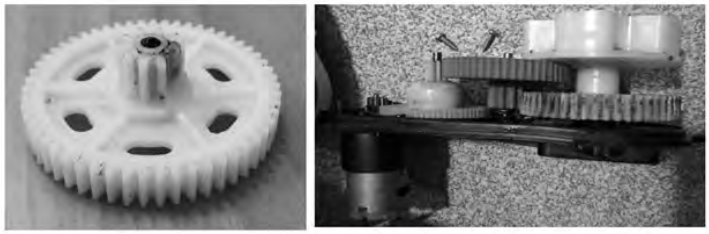
Несмотря на высокую точность и качество поверхности изделий, получаемых на фрезерных станках с ЧПУ, их применение для изготовления деталей из полимерных или композиционных материалов нецелесообразно ввиду высокой стоимости оборудования по сравнению с оборудованием для 3D-печати и необходимости высококвалифицированного персонала для наладки оборудования и создания управляющей программы.Обработка деталей со сложной конфигурацией занимает достаточно большое количество времени из-за большого количества технологических операций и переходов, что также является недостатком данного метода по сравнению с 3D-печатью. Дополнительным преимуществом 3D-печати стало отсутствие необходимости переналадки оборудования при изменении номенклатуры, что делает оптимальным их использование в условиях ремонтного производства, являющегося, как правило, единичным или мелкосерийным [7].

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

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

Опыт использования цифровой 3D-фермы на базе ВИМ. В настоящий момент на базе ВИМ функционирует цифровая 3D-ферма, позволяющая в минимальные сроки осуществлять обратное проектирование и изготовление деталей и узлов сельскохозяйственной техники. Возможности данной 3D-фермы позволили осуществить оперативную замену зубчатого колеса

на приводе насоса низкого давления (рис. 1). Неисправность заключалась в выбраковке зуба шестерни. Было произведено обратное проектирование неисправного зубчатого колеса, получена CAD-модель, доработанная в специализированном программном обеспечении, и по ней изготовлено новое изделие методом FDM-печати.



a) *b)*

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

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

Рис. 2. Цифровые модели фрикционных дисков со следами износа

Перспективы применения 3D-ферм на ремонтных предприятиях.

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

ственной техники и в короткие сроки получать их CAD-модели и чертежи.

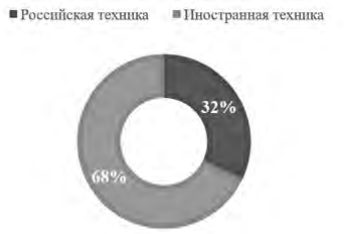


Рис. 3. Доля отечественных и зарубежных тракторов на рынке РФ в 2017 г.

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

3D-сканирование на ремонтном предприятии перспективно для использования в качестве средства контроля геометрии деталей сельскохозяйственной техники [8, 9, 10]. Контроль геометрии осуществляется путем сравнения полученной цифровой модели с идеальной, что позволяет выявить и оценить степень износа, дать рекомендации по остаточному сроку службы, необходимости восстановления или замены деталей сельскохозяйственной техники.

Выводы. Внедрение концепции цифровой 3D-фермы с участками 3D-печати, 3D-сканирования и химико-механической постобработкой на ремонтном предприятии способствует повышению скорости восстановления рабочего состояния агрегатов и машин путем быстрой замены вышедших из строя деталей из полимерных и композиционных материалов на новые, изготовленные на 3D-принтере. Оперативно проведенный ремонт приводит к сокращению простоя сельскохозяйственной техники и выполнению агротехнических норм согласно плану.

Ограничения и специфика оборудования, необходимого для реализации этой концепции, затрудняют ее внедрение как на производственных, так и на ремонтных предприятиях сельскохозяйственного сектора.

Библиографический список

1. Мальцева О.В. Развитие мирового рынка 3D-принтеров // Российский внешнеэкономический вестник. 2018. N9. С. 88-97.

2. Игонина Е.В., Дружинина О.В. Особенности разработки и применения FDM-технологии при создании и прототипировании 3D-объектов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13. N2. С. 185-193.

3. Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 1 // Омский научный вестник. 2016. N1 (145). С. 12-17.

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

5. Литунов С.Н., Слободенюк В.С., Мельников Д.В., Федянин В.В., Кощеева Н.С. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 2 // Омский научный вестник. 2016. N1 (145). С. 12-17.

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

7. Сергеева О.Ю. Аддитивные технологии и 3D-моделирование // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2018. N 4 (10). С. 142-158.

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

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

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

References

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10. Skorokhodov D.M. Influence of factors on the accuracy of quality control of spare parts of agricultural machinery automated measuring device. Bulletin of the. Moscow state Agroengineering University. V.P. Goryachkin. 2018. N2 (84). 44-49.

УДК 004.052.2: 681.327

СРЕДСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОДУЛЕЙ ПАМЯТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Владимир Григорьевич Рябцев, доктор технических наук, профессор, e-mail: akim@onoke.mfil.ru;
Сергей Васильевич Волобуев, старший преподаватель
Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Реферат. *Основными компонентами микропроцессорных систем управления служат модули памяти, которые хранят программы и применяются при выполнении алгоритмов управления. Оперативная память служит одним из самых надежных компонентов, однако под воздействием статического электричества, миграции электронов, из-за высокой проводимости окислов, нестабильности зарядов, туннельного эффекта со временем могут возникать отказы и сбои. (Цель исследования) Разработать архитектуры встроенных средств автоматического восстановления работоспособности модулей памяти при многократных отказах ее компонентов для ИУС критического применения, для которых необходимо использовать отказоустойчивые цифровые устройства. (Материалы и методы) Определили, сто использование встроенного самотестирования значительно снижает стоимость модулей памяти и повышает процент покрытия неисправностей, так как тесты выполняются на рабочих частотах, при этом не требуется внешнего диагностического оборудования. Установили, что для разработки и отладки программ верификации моделей быстродействующих микросхем полупроводниковой памяти применяют инструментальные средства, обеспечивающие наглядный и удобный способ представления результатов моделирования. (Результаты и обсуждение) Предложили структуру модулей памяти со встроенными средствами самотестирования и восстановления работоспособности при многократных отказах, которые позволяют выполнить автоматическую замену разрядов данных основного массива запоминающих ячеек, в которых произошли отказы, на данные, поступающие с выходов запасного массива запоминающих ячеек. Вероятность возникновения отказа модуля памяти уменьшается в 3,7 раза при выполнении четырех процедур восстановления работоспособности по сравнению модулем памяти, восстановление которого не выполняется. (Выводы) Применение модулей памяти, обладающих способностью автоматического самовосстановления работоспособности при многократных отказах, повышает надежность информационных управляющих комплексов, что особенно важно для систем критического применения. Автоматическое восстановление работоспособности модулей памяти возможно в автоматическом режиме без участия персонала. Сокращается вес и стоимость модулей памяти за счет дублирования не всего изделия, а только части его составных компонентов. Автоматическую реконфигурацию модуля памяти при обнаружении многократных отказов выполняют предлагаемые аппаратные и программные средства.*

Ключевые слова: *модули памяти, многократные отказы, восстановление работоспособности, встроенные средства диагностирования.*

Для цитирования: *Рябцев В.Г., Волобуев С.В. Средства восстановления работоспособности модулей памяти систем управления критического применения // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 33-39.*

MEANS RECOVERY OF THE WORKABILITY MODULES MEMORY FOR CRITICAL PRESSURE CONTROL SYSTEMS

Vladimir G. Ryabtsev, Dr.Sc(Eng.), professor, e-mail: akim@onoke.mfil.ru;
Sergey V. Volobuev, senior teacher
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. *The main components of microprocessor control systems are memory modules that store programs and are used in the execution of control algorithms. RAM is one of the most reliable components, but under the influence of static electricity, electron migration, due to the high conductivity of oxides, instability of charges, tunnel effect, etc.over time, failures and failures may occur. (Purpose of research) To develop architecture of the built-in means of automatic maintenance of modules of memory at repeated refusals of its components for IUS of critical application for which it is necessary to use failsafe digital devices. (Materials and methods) Defined, hundred use of the built-in self-testing considerably reduces the cost of modules of memory and increases percent of a covering of malfunctions as tests are carried out at operating frequencies, at the same time the external diagnostic equipment is not required. Established that to development and debugging of programs of verification of models of high-speed chips of semiconductor memory apply the tools providing an evident and convenient way of representation of results of modeling. (Results and discussion) Offered structure of modules of memory with the built-in means of self-testing and maintenance at repeated refusals which allow to execute automatic replacement of categories of the memorable cells given the main massif, in which there were refusals, on the data arriving from exits of the spare massif of the memorable cells. Probability of emergence of failure of the module of memory decreases by 3.7 times at implementation of four procedures of maintenance in comparison by the memory module which restoration is not carried out. (Conclusions) Use of the modules of memory having ability of automatic self-recovery of working capacity at repeated refusals increases reliability of information managing directors of complexes that is especially important for the systems of critical application. Automatic maintenance of modules of memory is possible in the automatic mode without participation of personnel. The weight and cost of modules of memory due to duplication not of all product but only parts of its compound components is reduced. Automatic reconfiguration of the module of memory at detection of repeated refusals is carried out by the offered equipment rooms and software.*

Keywords: *memory modules, multiple failures, restoration of operability, built-in diagnostic tools.*

For citation: *Ryabtsev V.G., Volobuyev S.V. Means recovery of the workability modules memory for critical pressure control systems. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 33-39.*

Введение. Технологические операции по фасовке и укупориванию продукции сельского хозяйства выполняются быстродействующими фасовочно-укупорочными машинами под управлением автоматических систем, в которых могут возникнуть неисправности основных компонентов – модулей памяти. При этом приходится останавливать все механизмы и устранять отказы, это может занять продолжительное время. На рабочем столе остается продукция с незавершенными операциями. Неработоспособные модули памяти следует заменить на исправные. Однако при этом затрачивается значительное время на поиск аналогичного модуля памяти и на проверку валидности его таймингов [1-3]. Большие затраты времени на восстановление системы автоматического управления приводят к порче фасуемой продукции с незавершенными технологическими операциями, поэтому она списывается как технологические потери.

Известны запоминающие устройства, в которых применяются корректирующие коды ECC (Error Check & Correction/Error Correction Code), способные автоматически исправлять любые одиночные ошибки и обнаруживать любые двойные [6]. Такая оперативная память функционирует нормально при возникновении одиночного отказа. Однако при полном или частичном выходе одного или нескольких разрядов модулей памяти из строя, корректирующих способностей контролирующих кодов недостаточно и оперативная память начинает работать крайне нестабильно [7].

Цель исследования – разработать архитектуры встроенных средств автоматического восстановления работоспособности модулей памяти при многократных отказах ее компонентов для ИУС критического применения, для которых необходимо использовать отказоустойчивые цифровые устройства.

Для достижения поставленной цели разработаны:

- архитектура микропроцессорного блока управления встроенными средствами самотестирования и восстановления работоспособности;
- структура блока автоматического восстановления работоспособности модулей памяти при многократных отказах;
- структура реконфигураторов входных и выходных данных;
- программы тестов для выполнения самотестирования микросхем памяти;
- моделирование модуля памяти с имитацией многократных отказов для проверки возможности автоматического восстановления работоспособности при многократных отказах.

Материалы и методы. Встроенное самотестирование служит методом разработки дополнительных аппаратных и программных средств, которые могут выполнять самотестирование, используя собственные компоненты, чтобы уменьшить зависимость от дорогостоящего внешнего тестового оборудования. Реализация встроенного самотестирования значительно снижает стоимость модулей памяти и повышает процент покрытия неисправностей, так как тесты выполняются на рабочих частотах, при этом не требуется внешнего диагностического оборудования, стоимость которого, как правило, во много раз выше, чем стоимость самих модулей памяти [4, 11].

Разработали структуру модуля памяти с автоматическим восстановлением работоспособности при многократных отказах (рис. 1). Кроме основного массива запоминающих ячеек 1 в состав модуля включен запасной массив запоминающих ячеек 2 и средства встроенного самотестирования 3-9. Новым техническим решением является включение в состав модуля блока

восстановления работоспособности 10 и реконфигураторов входных и выходных данных 11 и 12. Встроенные средства самотестирования формируют вектор ошибок, который запоминается в компараторе 9. Идентификация отказавших разрядов осуществляется путем сдвига вправо вектора отказов. В блоке восстановления работоспособности 10 подсчитывается количество отказавших разрядов и одновременно фиксируются их позиции [8, 9].

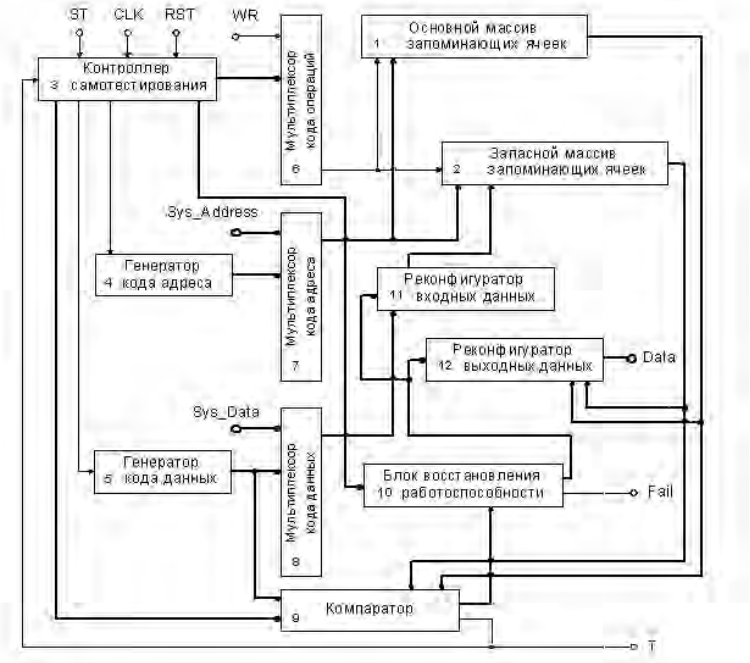


Рис. 1. Структура модуля памяти с автоматическим восстановлением работоспособности при многократных отказах

Кратность отказов, после возникновения которых можно восстановить работоспособность, определяется числом предусмотренных резервных информационных разрядов, а не модулей памяти целиком, что снижает стоимость всего изделия. Для разработки и отладки программ верификации моделей быстродействующих микросхем полупроводниковой памяти применяют инструментальные средства, обеспечивающие наглядный и удобный способ представления результатов моделирования: транслятор с языка Prover на язык VHDL и программу визуализации результатов моделирования.

Результаты и обсуждение. В среде Active-HDL выполнена разработка VHDL-моделей основных компонентов и проведена верификация проекта, подтверждающая возможность автоматического восстановления работоспособности модулей памяти при возникновении многократных отказов [5]. Структура средств восстановления работоспособности модуля памяти при многократных отказах приведена на рисунке 2.

Средства восстановления работоспособности модулей памяти при многократных отказах содержат блок восстановления работоспособности Fub1, реконфигуратор входных данных Fub2, блок декременторов кодов позиций отказавших разрядов Fub3, блок регистров кодов позиций отказавших разрядов Fub4, блок триггеров для фиксирования четырех отказов Fub5, блок

декременторов количества отказов Fub6, реконфигуратор выходных данных Fub7, блок коммутаторов выходных данных Fub8 [10].

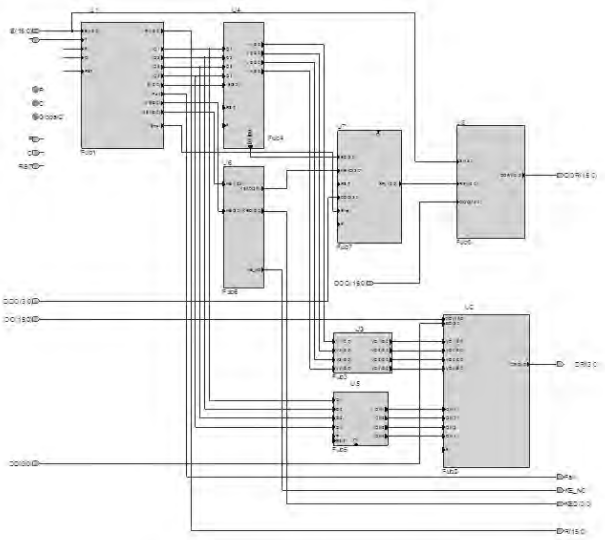


Рис. 2. Структура средств восстановления работоспособности модуля памяти при многократных отказах

Если количество отказавших разрядов превышает предусмотренное количество разрядов запасного массива запоминающих ячеек, то восстановление работоспособности такого модуля невозможно и на его выходе сформируется сигнал фатальной ошибки – *Fail*. Если интенсивность отказов одного разряда микросхемы памяти $\lambda=1\cdot10^{-5}$, тогда для модуля, имеющего *m_inf* информационных разрядов вероятность безотказной работы $p(t)=e^{-t\cdot\lambda m+inf}$, вероятность отказа $q(t)=(1-p(t))^1$. Для устройства с возможностью выполнения цикла восстановления работоспособности вероятность отказа $q1(t)=(1-p(t))^2$ для модулей с возможностями выполнения двух, трех и четырех циклов восстановления вероятности отказов вычисляются по формулам соответственно:

$$q2(t)=(1-p(t))^3,\ q3(t)=(1-p(t))^4\ ,\ q4(t)=(1-p(t))^5$$

Вероятности безотказной работы модуля памяти без восстановления работоспособности показывает график $p(t)$, а вероятность отказа – $q(t)$ (рис. 3). Графики $q1(t)$, $q2(t)$ и $q4(t)$ отображают вероятности возникновения отказов при выполнении одного, двух и четырех циклов восстановления соответственно. Вероятность возникновения отказа модуля памяти уменьшается в 3,7 раза при выполнении четырех процедур восстановления работоспособности по сравнению модулем памяти, восстановление которого не выполняется. При проектировании архитектуры отказоустойчивого модуля памяти обеспечивается получение высоких диагностических свойств формируемых тестов [6]. При этом уменьшают емкость программ тестов путем использования аппаратно-микропрограммного способа формирования тестов, который сочетает высокое быстродействие с небольшими аппаратными затратами.

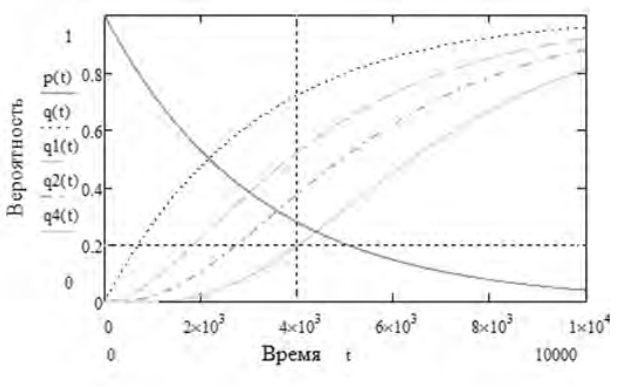


Рис. 3. Графики изменения вероятностей возникновения отказов

Выводы. Возможно производство средств самотестирования и восстановления работоспособности модулей памяти на программируемых логических интегральных схемах, которые можно применять при серийном производстве модулей памяти. Для дальнейшего развития проекта необходима разработка встроенного микроконтроллера, который обеспечит самотестирование и автоматическое восстановление работоспособности модулей памяти при многократных отказах их компонентов в системах управления критического применения. Кратность отказов, после проявления которых возможно восстановить работоспособность модуля памяти, определяется числом предусмотренных резервных информационных разрядов, а не модулей памяти целиком. Применение модулей памяти, обладающих способностью автоматического самовосстановления работоспособности при многократных отказах, повышает надежность информационных управляющих комплексов, что особенно важно для систем критического применения. Автоматическое восстановление работоспособности модулей памяти возможно в автоматическом режиме без участия персонала. Сокращается вес и стоимость модулей памяти за счет дублирования не всего изделия, а только части его составных компонентов. Автоматическую реконфигурацию модуля памяти при обнаружении многократных отказов выполняют предлагаемые аппаратные и программные средства.

Библиографический список

1. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Оценка надежности компьютерных систем с учетом поэтапного восстановления аппаратуры и информации // Известия вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59. N12. С. 975-979.

2. Волобуев С.В., Рябцев В.Г., Уткина Т.Ю. Автоматическое восстановление работоспособности модулей памяти в микропроцессорных системах управления. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет. 2016. С. 351-354.

3. Дрозд А.В., Харченко В.С., Антощук С.Г. Оценка контролепригодности цифровых компонентов встроенных систем критического применения // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2012. N6 (58). С. 184-190.

4. Евдокимов А.П., Рябцев В.Г., Меликов А.В. Принципы проектирования устройств тестового диагностирования быстродействующих микросхем и модулей полупроводниковой памяти // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2018. N2. С. 23-30.

5. Евдокимов А.П., Рябцев В.Г., Шубович А.А. Моделирование средств для восстановления работоспособности модулей памяти. Уфа: ООО «Агентство меж-

дународных исследований». 2017. С. 24-28.

6. Волобуев С.В., Евдокимов А.П., Меликов А.В., Рябцев В.Г., Шубович А.А. Методы и средства повышения надежности модулей памяти компьютеров. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет. 2018. 284 с.

7. Шагурин И.И., Щигорев Л.А. Сравнительный анализ комбинированных методов повышения сбое- и отказоустойчивости блоков статической оперативной памяти // Известия вузов. Электроника. 2016. Т. 21. N4. С. 347-352.

8. Almadi K., Ryabtsev V.G., Utkina T.Yu. Automatic operability restoration of semiconductor memory's modules during multiple faults. European Journal of Engineering and Technology. 2015. Vol.3. N5. 72-79.

9. Evseev K.V., Ryabtsev V.G, Feklistov A.S. Improved Reliability Memory's Module Structure for Critical Application System. Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2016. V.1. Iss.1. 65-68.

10. Volobuev S.V., Ryabtsev V.G., Utkina T.Yu. Automatic Recovery of Memory Operability in Microprocessor Based Control System. Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2016. 1-4.

11. Utkina T.Yu., Andrienko V.A., Moamar D., Ryabtsev V.G. Architecture of Built-In Self-Test and Recovery Memory Chips. Kharkov: KHNURE. 2012. 307-310.

References

1. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Estimation of reliability of computer systems taking into account step-by-step restoration of the equipment and information. higher educational. Instrument making. 2016. Vol. 59. N12. 975-979.

2. Volobuev S.V., Ryabtsev V.G., Utkina T.Yu. Automatic restoration of memory modules in microprocessor control systems. Chelyabinsk: Southern Ural State University. 2016. 351-354. (In Russian)

3. Drozd A.V., Kharchenko V.S., Antoshchuk S.G. Evaluation of testability of digital components of embedded systems for critical applications. Radoactive I comp utern systems. 2012. N6 (58). 184-190.

4. Evdokimov A.P., Ryabtsev V.G., Melikov A.V. The Principles of design of devices for rapid diagnostics of semiconductor chips and modules of memory. Problems of development of micro- and nanoelectronic systems (MEA). 2018. N2. 23-30.

5. Evdokimov A.P., Ryabtsev V.G., Shubovich A.A. Modeling tools for recovery of memory modules. Ufa: LLC Agency of the International Researches. 2017. 24-28.

6. Volobuev S.V., Evdokimov A.P., Malikov A.V., Ryabtsev V.G., Shubovich A.A. Methods and means of improving the reliability of memory modules computers. Volgograd: Volgograd state agricultural university. 2018. 284.

7. Shagurin I.L., Shchigorev L.A. Comparative analysis of the combined methods of increasing the failure resistance of static RAM blocks. Izvestiya vuzov. Electronics. 2016. Vol.21. N4. 347-352.

8. Almadi K., Ryabtsev V.G., Utkina T.Yu. Automatic operability restoration of semiconductor memory's modules during multiple faults. European Journal of Engineering and Technology. 2015. Vol. 3. N5. 72-79.

9. Evseev K.V., Ryabtsev V.G, Feklistov A.S. Improved Reliability Memory's Module Structure for Critical Application System. Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2016. Vol. 1. Iss. 1. 65-68.

10. Volobuev S.V., Ryabtsev V.G., Utkina T.Yu. Automatic Recovery of Memory Operability in Microprocessor Based Control System. Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers 2016. 1-4.

11. Utkina T.Yu., Andrienko V.A., Moamar D., Ryabtsev V.G. Architecture of Built-In Self-Test and Recovery Memory Chips. Kharkov: KHNURE. 2012. 307-310.

УДК 631.31

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЫ

Галина Геннадьевна Пархоменко[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;
Сергей Геннадьевич Пархоменко[2], кандидат технических наук, доцент
[1]Аграрный научный центр «Донской» Северо-Кавказского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства;
[2]Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета

Реферат. *Экологическая безопасность природной среды предусматривает охрану земельных ресурсов от возможного негативного техногенного и антропогенного воздействия. Представлены причины и последствия чрезмерного уплотнения почвы, которое усиливает эрозионные процессы. (Цель исследования) Разработать способы эффективной эксплуатации технических средств, препятствующие уплотнению почвы. (Материалы и методы) Провели монографическое исследование причин возникновения физической деградации почвы при эксплуатации технических средств. Проанализировали негативные последствия чрезмерного уплотнения почвы в аридных условиях. Выявили, что взаимодействие рабочих органов с почвой необходимо рассматривать как процесс деформирования вязкоупругого основания. (Результаты и обсуждение) Глубокая обработка почвы чизелем, снижающая уплотнение на 21 процент. Максимальное давление движителей на почву при влажности 18,6-21,7 процентов не должно превышать 120-140 килопаскалей. Выявили, что уплотнение почв ведет к ухудшению их пористости, воздухопроницаемости. Установили, что напряжения снижаются за счет релаксации; необходимо выбирать широкие шины и увеличивать пятно контакта. (Выводы). Проектировать технические средства необходимо с учетом допускаемого давление движителей на почву. Многолетние травы положительно влияют на саморазуплотнение пласта. Под влиянием глубокого чизелевания переуплотнение обрабатываемого слоя почвы уменьшается до 21 процента.*

Ключевые слова: *уплотнение почвы, допускаемое давление, гусеничные и колесные движители, физическая деградация.*

Для цитирования: *Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 41-46.*

ECOLOGICALLY SAFE OPERATION OF TECHNICAL FACILITIES IN CONDITIONS OF PHYSICAL DEGRADATION OF SOIL

Galina G. Parkhomenko[1], Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;
Sergei G. Parkhomenko[2], Ph.D.(Eng.), associate professor
[1]Agrarian scientific center "Donskoy" North Caucasian research institute of mechanization and electrification of agriculture;
[2]Azovo-Chernomorsky engineering institute – branch of the Don state agricultural university

Abstract. *The article presents the causes and consequences of excessive soil. Environmental safety of the natural environment provides for the protection of land resources from possible negative man-caused and anthropogenic impact. (Purpose of research) to Develop the ways of effective operation of technical means interfering consolidation of the soil. (Materials and methods) Conducted a monographic research of the causes of physical degradation of the soil at operation of technical means. Analysed negative consequences of excessive consolidation of the soil in arid conditions. Revealed that interaction of working bodies with the soil needs to be considered as process of deformation of the viscoelastic basis. (Results and discussion). Defined ways of decrease in consolidation of the soil: cultivation of long-term herbs, deep processing of the soil chizely, reducing consolidation by 21 percent. The maximum pressure of propellers upon the soil at humidity of 18.6-21.7 percent should not exceed 120-140 kilopascals. Revealed that consolidation of soils leads to deterioration in their porosity, air permeability. Established that tension decreases at the expense of a relaxation; it is necessary to choose wide tires and to increase a contact spot. (Conclusions) It is necessary to design technical means taking into account allowed pressure of propellers upon the soil. Long-term herbs positively influence a layer samorazuplotneniye. Under the influence of a deep chizelevaniye reconsolidation of the processed layer of earth decreases up to 21 percent.*

Keywords: *soil compaction, allowable pressure, tracked and wheeled propulsion, physical degradation.*

For citation: *Parkhomenko G. G., Parkhomenko S. G. Ecologically safe operation of technical facilities in conditions of physical degradation of soil. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 41-46.*

Введение. Экологическая безопасность природной среды предусматривает охрану земельных ресурсов от возможного негативного техногенного и антропогенного воздействия, а также рациональное использование почвы. Важнейшей задачей рационального использования почвы стало обеспечение воспроизводства плодородия, одно из условий которого –накопление гумуса, уменьшающегося в связи с нарастающим переуплотнением пласта. Сохранение современной преимущественно невысокой культуры земледелия, сопровождающейся уменьшением содержания гумуса в почве, разрушением структуры, приведет к дальнейшему переуплотнению обрабатываемого пласта.

Переуплотнение почвы – один из видов физической деградации, приводящий к уменьшению пористости и влагопроницаемости [1]. Чрезмерное уплотнение почвы приводит к ускоренной аридности пахотного слоя в ве-

сенний период, что недопустимо в условиях недостаточного увлажнения.

Деградация характеризуется изменением свойств почвы в результате избыточных нагрузок при всех видах землепользования, разрушающих почвенный покров, ухудшающих его физическое состояние и агротехнические показатели процесса. При этом наблюдается ухудшение водно-воздушного режима, условий существования почвенной биоты; происходит усиление эрозионных процессов.

Цель исследования – разработать способы эффективной эксплуатации технических средств, препятствующие уплотнению почвы.

Материалы и методы. Провели монографическое исследование причин возникновения физической деградации почвы при эксплуатации технических средств, проанализировали негативные последствия и определили способы снижения переуплотнения обрабатываемого пласта.

Напряженное состояние пласта рассматривали как результат силового взаимодействия рабочих органов с почвой на основании основных положений теории упругости и на основании реологии.

Существующие модели взаимодействия рабочих органов со средой можно разделить на три группы [2]:

- почва – твердое тело;
- почва – вязкоупругая среда;
- почва – сплошная несжимаемая сыпучая среда.

Исследования показали, что взаимодействие рабочих органов с почвой в условиях недостаточного увлажнения необходимо рассматривать как процесс деформирования вязкоупругого основания.

Соотношения между напряжениями и деформациями для вязкоупругих материалов обычно формулируются с использованием функции ползучести, которая определяет деформацию почвы при приложении единичного ступенчатого воздействия (напряжения) или с использованием функции релаксации, выражающей изменение напряжения.

Сложное напряженное состояние пласта задают двумя независимыми функциями, определяющими поведение почвы при сдвиговой и объемной деформациях [3, 4]. Эти функции соответствуют модулю сдвига и объемному модулю (модулю деформации) для идеально упругих материалов.

Исследуя уплотнения, достаточно рассматривать уравнение напряженного состояния пласта почвы только при объемных деформациях и использовать модель Максвелла. При этом предполагают, что касательные напряжения не превышают предельных, иначе происходит сдвиг почвы и образуется призма волочения [5].

Результаты и обсуждение. За рубежом ущерб от недобора урожая в растениеводстве вследствие переуплотнения почвы оценивают примерно в 2 млрд долларов. Ежегодный убыток от переуплотнения почвы в Швеции – в 100 млн крон. В восточных провинциях Канады ущерб от переуплотнения почвы в 1,4 раза больше, чем от эрозии.

Действие принудительного переуплотнения, например, создаваемого движителями после прохода по полю, проявляется в зависимости от содержания гумуса и физической глины в почве, что объясняется их коллоидными свойствами. При этом противодействие принудительному переуплотнению проявляется при достаточном количестве органического вещества и влаги. В зоне недостаточного увлажнения процессы минерализации гумуса превалируют над его образованием, поэтому переуплотнение приводит к

усилению негативных последствий для почвы. Переуплотнение почвы способно привести к физической деградации, которая с микроморфометрической стороны представляет собой процесс негативной трансформации строения пласта, следствием чего становится уменьшение количества агрономически ценных агрегатов. Без обработки пласт при длительном содержании в режиме залежи уже не может разуплотниться до величины уплотнения в природном состоянии, но еще может разуплотниться с 1,40-1,50 до 1,20-1,28 г/см^3 [6]. Согласно нормативам изменения физических свойств черноземов в зависимости от характера антропогенного воздействия диапазон значений оптимальной плотности обрабатываемого слоя почвы Ростовской области составляет 1,10-1,25 г/см^3, критической – более 1,35 г/см^3 при содержании гумуса 3,5-4,5%.

При существующих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур различные машины проходят по полю много раз. Поскольку среднее давление, создаваемое гусеничными тракторами, достигает 60-80 кПа, колесными 85-165 кПа (максимальное – 320-560 кПа вследствие неравномерного распределения давления по опорным поверхностям), то плотность почвы в пахотном и подпахотном горизонте увеличивается [7, 8]. Установлено, что при движении плоского клина на глубине 110 мм давления достигают 300-600 кПа, а на лемехе и отвале плуга – порядка 800-1000 кПа.

Контактные давления на поверхности рабочих органов машины зачастую больше, чем развиваемые движителями тракторов и сельскохозяйственных машин, что приводит к образованию плужной подошвы и уплотненных глыб почвы.

Плотность почвы в глыбах в 1,24 раза выше, чем в этом же слое до обработки, а твердость почвы дна борозды в 1,5-2,0 раза больше, чем до прохода орудия. Согласно принятым нормам (ГОСТ 26955) для почв, содержащих 30-40% физической глины, к которым относится чернозем, максимальное давление гусеничных и колесных движителей при влажности 18,6-21,7% не должно превышать 120-140 кПа. Разрушение структуры почвы, переуплотнение под воздействием сельхозтехники ведут к уменьшению как общей, так и дифференциальной пористости. В первую очередь уменьшается межагрегатная влаго- и воздухопроводящая пористость, которая определяет в основном водоудерживающую способность почв.

При увеличении плотности почвы до 1,3-1,4 г/см^3 содержание водо- и воздухопроводящих пор уменьшается в 1,5-2,0 раза; при плотности более 1,5 г/см^3 поры практически исчезают. В результате этого и ухудшается влаго- и воздухопроницаемость почв. Переуплотнение почв ведет к ухудшению их питательного режима. Установлено снижение усвоения фосфорных удобрений из-за переуплотнения. При изменении плотности почвы от оптимальной на 0,1-0,3 г/см^3 урожайность снижается на 20-40%. Увеличение плотности сложения в результате уплотнения черноземных почв на 0,01 г/см^3 приводит к снижению урожая зерновых культур на 0,9 ц/га. В процессе переуплотнения почвы уменьшается не только общий объем пор, но и их размер. Корневые волоски не могут расти, если поры почвы по размеру меньше 10 мкм. Поры менее 3 мкм недоступны микроорганизмам.

Разуплотнение почвы возможно также и за счет процесса саморазуплотнения пласта. Многолетние травы положительно влияют на саморазуплотнение пласта, повышают плодородие почвы, способствуют понижению плотности, улучшают макроструктуру, аэрацию и водопроницаемость.

Анализ показал, под влиянием глубокого чизелевания уплотнение обрабатываемого слоя почвы уменьшается до 21%, пористость увеличивается до 10%, а водопроницаемость почвы возрастает в несколько раз. Во время обработки почвы и других сельскохозяйственных работ необходимо выбирать широкие шины и регулировать давление, увеличивая пятно контакта. При качении колеса с почвозацепами энергия затрачивается в основном на деформацию почвы и шины, обусловленную их вязкоупругими свойствами. При снижении нормальной нагрузки на ходовые системы сельскохозяйственных машин в процессе выполнения технологического процесса наиболее интенсивно уменьшаются напряжения в почве на глубине 0,5 м (на 50-70%) [9]. Максимальные давления в контакте шин с почвой уменьшаются при этом на 11-20%.

При моделировании машин и агрегатов необходимо определять допускаемое давление движителей на почву (ГОСТ 26953) [10].

При рассмотрении процесса взаимодействия рабочих органов с почвой получена зависимость, характеризующая распределение контактных напряжений при качении катка по вязкоупругому основанию, с учетом длительности релаксации пласта *T,* а также модуля упругости почвы *E*, параметров (радиуса *R*) и режимов функционирования (скорости *V*):

$$\sigma(x) = \frac{E}{R} e^{-\frac{x}{VT}} (x + VT)$$

Определили область распределения напряжений контактного взаимодействия рабочего органа с почвой для засушливых условий (рис.).

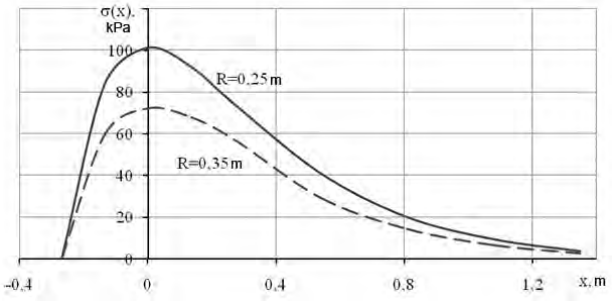


Рис. Распределение напряжений в почве

Из анализа рисунка следует, что точка прекращения контакта катка с почвой расположена дальше от экстремума, чем точка начала контакта, то есть график распределения напряжений ассиметричен.

Это объясняется наличием релаксации напряжений у вязкоупругих материалов при контакте качения. При взаимодействии с рабочим органом происходит деформация почвы, возникает напряжение $\sigma(x)$, стремящееся за счет упругих свойств восстановить прежнюю форму пласта (отрицательные значения аргумента на рисунке). Достигнув наибольшего значения при развитии деформации, почва за счет вязкости пласта проявляет свойство релаксации, приводящее к снижению напряжений, то есть наблюдается последействие нагружения (положительные значения аргумента на рисунке). Релаксация пласта протекает медленнее, чем сжатие, что сказывается на асимметричности области контактного взаимодействия рабочего органа с почвой, представленной площадью под кривой $f=\sigma(x)$ и ограниченной осью

абсцисс, то есть длительность последействия превышает длительность нагружения. Проведены исследования уплотняющего воздействия экспериментальных пневматических шин на почву, которое оценивалось максимальным давлением движителя и нормальным напряжением на глубине 0,5 м (табл.).

Таблица

Уплотняющее воздействие пневматических шин на почву

№	Показатели	Варианты		Прирост, %
		Серийный 16,9R30	Опытный 16,9-30ДП	
1.	Контурная площадь контакта, м^2	0,159	0,164	3,14
2.	Максимальное давление, кПа	117,787	114,196	-3,05
3.	Максимальное нормальное напряжение на глубине 0,5 м, кПа	20,22	20,049	-0,85

Данные таблицы показывают, что при работе трактора на экспериментальных шинах наблюдается большая контурная площадь контакта (на 3,14%), меньшее максимальное давление движителя (на 3,05%) и уменьшение нормального напряжения в почве на глубине 0,5 м (на 0,85%). При этом максимальные напряжения не превышают допускаемых.

Выводы:

- проектировать технические средства необходимо с учетом допускаемого давление движителей на почву. Необходимо выбирать широкие шины и регулировать давление, увеличивая пятно контакта;
- многолетние травы положительно влияют на саморазуплотнение пласта;
- под влиянием глубокого чизелевания переуплотнение обрабатываемого слоя почвы уменьшается до 21%.

Библиографический список

1. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. Géotechnique Letters. 2014. Vol. 4. Iss. 2. 88-93.

2. Lloret-Cabot M., Wheeler S.J., Sánchez M. A unified mechanical and retention model for saturated and unsaturated soil behavior. Acta Geotechnica. 2017. Vol. 12. Iss. 1. 1-21.

3. Konrad J.M., Lebeau M. Capillary-based effective stress formulation for predicting shear strength of unsaturated soils. Canadian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 52. Iss. 12. 2067-2076.

4. Rosone M., Fabulla C.A., Ferrari A. Shear strength of a compacted scaly clay in variable saturation conditions. Acta Geotechnica. 2016. Vol. 11. Iss. 1. 37-50.

5. Gao Y., Sun D., Zhu Z., Xu Y. Hydromechanical behavior of unsaturated soil with different initial densities over a wide suction range. Acta Geotechnica. 2018. 1-12.

6. Медведев В.В., Словиньска-Юркевич А., Брик М. Физическая деградация почв, ее диагностика, ареалы распространения и способы предотвращения // Грунтознавство. 2012. Т.13. N1-2. С. 5-22.

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

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

9. Гедроить Г.И., Захаров А.В., Варфоломеева Т.А., Кодзь М.Ю. Исследование стандартных показателей уровня воздействия ходовых систем на почву при переменной нагрузке. Минск. 2014. С. 64-65.

10. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 55-61.

References

1. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. Géotechnique Letters. 2014. Vol. 4. Iss. 2. 88-93.

2. Lloret-Cabot M., Wheeler S.J., Sánchez M. A unified mechanical and retention model for saturated and unsaturated soil behavior. Acta Geotechnica. 2017. Vol. 12. Iss. 1. 1-21.

3. Konrad J.M., Lebeau M. Capillary-based effective stress formulation for predicting shear strength of unsaturated soils. Canadian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 52. Iss. 12. 2067-2076.

4. Rosone M., Fabulla C.A., Ferrari A. Shear strength of a compacted scaly clay in variable saturation conditions. Acta Geotechnica, 2016. Vol. 11. Iss. 1. 37-50.

5. Gao Y., Sun D., Zhu Z., Xu Y. Hydromechanical behavior of unsaturated soil with different initial densities over a wide suction range. Acta Geotechnica. 2018. 1-12.

6. Medvedev V.V., Slovinska-Yurkevich A., Brik M. Physical degradation of soils, its diagnostics, distribution areas and methods of prevention. Gruntoznavstvo. 2012. Vol. 13. N1-2. 5-22.

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

8. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in plant growing. Storage and processing of grain. 2017. N1 (209). 55-60.

9. Gedroit G.I., Zakharov A.V., Varfolomeeva T.A., Kodz M.Y. A study of standard indicators of the level of influence of running systems on soil under variable load. Minsk. 2014. 64-65.

10. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. The method of structural modeling of systems of automatic regulation of operating regimes of soil cultivating units. Trudy GOSNITI 2017. Vol. 126. 55-61.

УДК 621.43.068

ИННОВАЦИОННЫЕ ОПЕРАЦИИ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА И ЭКОНОМИЧНОСТИ ИЗНОШЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Анатолий Васильевич Дунаев[1], доктор технических наук, главный специалист, e-mail: dunaev135@mail.ru;
Владимир Юрьевич Зернов[1], ведущий специалист;
Юрий Валентинович Воробьев[2], доктор технических наук, профессор;
Игорь Филиппович Пустовой[3], инженер;
Иван Борисович Тришкин[4], доктор технических наук, доцент, профессор
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2]Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация;
[3]ООО «РеалИнПроект», РП Кузьмоловский, Ленинградская область, Российская Федерация;
[4]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация

Реферат. *Разрабатываемые и внедряемые частными компаниями инновационные приемы повышения ресурса и экономичности машин и оборудования требуют научного подтверждения. Для этого проводят трибологические исследования при вводе в смазочные масла известных антифрикционных, противоизносных минеральных триботехнических составов, создают и испытывают свои, исследуют триботехническую эффективность электрического воздействии на масла. (Цель исследования) Подтвердить лабораторными и эксплуатационными испытаниями эффективность триботехнических составов, электризации моторных, трансмиссионных масел на уменьшение трения, изнашивания, а также активации моторных топлив на экономичность автомобилей. (Материалы и методы) Провели лабораторные исследования стальной трибопары «палец-диск» в масле М-10Г2К в режиме ступенчатого нагружения до давления 220 мегапаскалей на трибометре TRB-S-DE Швейцарской фирмы CSM Instruments. Испытали 7 трибосоставов и созданный в Наноцентре ГОСНИТИ из отходов Сарановской шахты серпентиновый трибосостав «Сарановский». Комплексная трибообработка агрегатов автомобилей, апробированная на десятках автомобилей, включала комплекс операций по предварительной очистке сопряжений ДВС вводом серпентинового состава «Fe-do» и подачей зарядов в масла на пробег 200-300 километров. Выполнили испытания машин со свежим маслом и с введенным в него трибосоставом «Fe-do» ремонтно-восстановительного свойства в пробеге 1-2 тыс. км без электрообработки масел. Для подтверждения эффективности модификации топлив в активаторе провели анализ хроматограмм исходных и активированных проб и подверженных воздействию в камере холода КХТВ-0,08, анализ результатов стендовых и эксплуатационных испытаний ДВС с активатором на расход топлива с выработкой гипотезы причин его уменьшения. (Результаты и обсуждение) Выявили в лабораторных исследо-*

ваниях, что трибосостав «Сарановский» приблизил триботехнические свойства масла М-10Г2К к свойствам масла фирмы Мобил класса SJ/SL; хорошие свойства подтвердили другие 4 трибосостава. Определили, что подача в масла зарядов уменьшала коэффициент трения и износ стальной трибопары «палец-диск» до 3,5 раз, а в эксплуатационных испытаниях автомобилей показано уменьшение расхода топлив до 22 процентов. Предположили по механизму действия зарядов в маслах с очисткой ЦПГ и не длительным дымлением ДВС, с коагуляцией загрязнений масла, их отфильтровыванием, с улучшением топливно-экономических показателей ДВС, что разряд в сопряжениях молекул масел усиливают их адгезию к поверхностям деталей. Анализ особенностей модификации топлив активатором подтвердил значительную эффективность данного метода. (Выводы) Приемы механохимической обработки позволяют не только существенно уменьшить расход топлива ДВС, но и значительно снижать температуру замерзания, дымность ОГ дизелей. Активатор может улучшать первичное моторное топливо РФ до норм ЕВРО-3, ЕВРО-4 с удалением серы и разрушением смол.

Ключевые слова: *трибосостав, масло, коэффициент трения, электричество, двигатель, трансмиссия, активация топлива, расход топлива.*

Для цитирования: *Дунаев А.В., Зернов В.Ю., Воробьев Ю.В., Пустовой И.Ф., Тришкин И.Б. Инновационные операции повышения ресурса и экономичности изношенной техники при ее техническом обслуживании // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 47-59.*

INNOVATIVE OPERATIONS TO IMPROVE RESOURCE AND COST EFFICIENCY WORN-OUT EQUIPMENT DURING ITS MAINTENANCE

Anatoly V. Dunaev[1], Dr.Sc(Eng.), chief research engineer,
e-mail: dunaev135@mail.ru;
Vladimir Yu. Zernov[1], leading specialist;
Yuri V. Vorobiev[2], Dr.Sc(Eng.), professor
Igor F. Pustovoy[3], engineer
Ivan B. Trishkin[4], Dr.Sc(Eng.), professor
[1]Federal scientific Agroengineering center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2] Tambov state technical University, Tambov, Russian Federation;
[3]OOO "RealImProect", RP Kuzmolovsky, Leningrad oblast, Russian Federation;
[4] Ryazan state agrotechnological University P. A. Kostycheva, Ryazan, Russian Federation

Abstract. *Developed and implemented by private companies innovative techniques to improve the resource and efficiency of machines and equipment requires scientific confirmation. For this purpose, tribological studies are carried out when entering into lubricating oils known antifriction, anti-wear mineral tribotechnical compositions, create and test their own, investigate the tribotechnical efficiency of the electric effect on the oil. (Purpose of research) To confirm with laboratory and performance tests efficiency of tribotechnical structures, electrizations of engine, gearbox oils on reduction of friction, wear and also activation of motor fuels by profitability of cars. (Materials and methods) Thus, in laboratory tests with DC voltage up to 50 V for copper, aluminum, zinc,*

tin, steel, coal electrodes washed with oil, a significant decrease in friction and wear is confirmed. In the operation of vehicles confirmed that the voltage is applied even to the steel parts in oil of the internal combustion engine and transmission assemblies provides fuel economy under different conditions from 10 to 18, average 12%. The same tribotechnical treatment for hydraulic equipment is proposed. Research methods. Laboratory studies of steel tribopara «finger-disc» in oil M-10G2K in step loading mode to a pressure of 220 MPa were carried out on the tribometer TRB-S-DE Swiss company CSM Instruments. In the 7 tested compounds, including those established in the Nanocenter GOSNITI from waste «Mines Saranovskoe» the serpentine tribalistas «Sarnowsky». Comprehensive tribotechnical treatment assemblies cars tested on dozens of vehicles included complex operations a preliminary sight-the revenge would mate the engine entering the serpentine part of the «Fe-do» cleansing action and filing charges in oil mileage 20-300 km. Executed tests of cars with fresh oil and with entered into it tribosostavy "Fe-do" of repair and recovery property in a run of 1-2 thousand km without electroprocessing of oils. To confirm the effectiveness of modification of fuels in the activator according to the patent of Russian Federation № 2411974 spent analysis of chromatograms of the original and activated trial and exposed in the cold chamber KTCV-0,08, analysis of the results of bench and service tests of engines the activator on fuel consumption with the elaboration of hypotheses of the reasons for its reduction. (Results and discussion) In vitro studies revealed that, for example, developed tribalistas «Sarnowski» brought tributechnical properties of the oil, M-10G2K to the properties of the oil firm Mobil grade SJ/SL Good properties confirmed the other 4 tribalists. The supply of charges to the mass reduced the coefficient of friction and wear of the steel tribopara «finger-disk» up to 3.5 times, and in the operational tests of cars showed a decrease in fuel consumption up to 22%. According to the mechanism of action of charges in oils with cleaning of piston and piston rings, not long-term smoke of internal combustion engines, with coagulation of oil pollution, their filtering, with the improvement of fuel and economic indicators of internal combustion engines, it is assumed that the discharge of oil molecules in the mates increase their adhesion to the surfaces of parts. The analysis of features of modification of fuels confirmed with the activator considerable efficiency of this method. (Conclusions) Methods of mechanochemical treatment allow not only to reduce significantly fuel consumption of DVS, but also to considerably reduce the freezing temperature, smoke of OG of diesels. The activator can improve primary motor Russian Federation fuel to norms of EVRO-3, EVRO-4 with removal of sulfur and destruction of pitches.

Keywords: *tribotechnical composition, oil, friction, wear, electricity, engine, transmission, fuel consumption.*

For citation: *Dunayev A.V., Zernov V.Ju., Vorobyov Yu.V., Pustova I.F., Trishkin I.B. Innovative operations of increase in a resource and profitability of the worn-out equipment at its maintenance. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 47-59.*

Введение. Современные масла и смазки имеют высокое качество за счет усложнения его производства. Возможности дальнейшего их совершенствования ограничены и экономически не оправданы. Физиками и химиками разработаны инновационные методы улучшения триботехники в маслах [1-8].

Основной износ сопряжений в нормальных условиях происходит при граничном и смешанном трении. Здесь важную роль играют физические и

химические процессы на поверхностях трения и между молекулами смазок, присадок, добавок к маслам, адсорбция на деталях полярных и поляризованные молекул трибосреды с влиянием на процессы внешних силовых полей [9-12]. Однако в трибологии эти вопросы мало изучены.

Выявили, что использование на деталях антифрикционных трибопокрытий для повышения ресурса узлов трения и экономичности машин служит весьма эффективным приемом. В результате межремонтный ресурс машин увеличивается в 2-3 раза, на 5-20% уменьшается расход топлива, до 30% – эксплуатационные затраты.

Ввод в масла химически активных веществ, суспензий природных и искусственных минералов, создающих антиизносные покрытия, или повышающих адгезию смазки, или модифицирующих поверхности трения, технически и экономически оправданно с рентабельностью 500-800 и до 1200%. Поэтому в РФ с 1998 г. развивается инновационный «безразборный технический сервис», а с 2005 г. также и ввод в масла электрических зарядов.

Безразборный сервис по методу профессора В.И. Балабанова может включать обкатку, диагностирование, ввод профилактических трибосоставов, очистку систем смазки, топливоподачи, охлаждения, а главное – восстановление работоспособности изношенных неаварийных узлов трибосоставами. Такой сервис для АПК актуален и для него имеются все технические возможности. При минимуме затрат на трибообработку (менее 1% эксплуатационных) ее регулярное и квалифицированное проведение существенно повышает надежность и экономичность изношенной техники.

Поэтому этот сервис с экспресс-контролем масел по «капельной пробе» должен стать в АПК регламентным. Для этого в нормативно-техническую документацию (НТД) на эксплуатацию машин необходимо включать: обкатку приработочными составами; в предремонтной эксплуатации – профилактику мягкими составами; при выработке ресурса – восстановительную обработку; после ремонта – обкатку притирочными составами с заменой профилактическими. Во всем периоде эксплуатации полезен ввод в масла агрегатов электрических зарядов из электрооборудования машин.

Механизмы действия около сотни отечественных и импортных трибосоставов различны. В разных условиях они формируют разные покрытия или поразному модернизируют поверхности трения. Например, минеральные частицы могут подвергаться механической нагартовке, быть третьим телом в соединениях, другие – участвуют в адгезии, хемосорбции, электрохимическом металоплакировании, а особенно активные – в трибохимии, трибополимеризации, в катализе углеродных алмазоподобных пленочных покрытий поверхностей трения. Возможно, например, что очистка деталей частицами минералов открывает ювенильные, каталитически-активные поверхности кристаллов металлов, идут активация и преобразование частиц минералов, образование полимеров и тем самым – ремонтно-восстановительного, противоизносного покрытия. Дополнительным триботехническим приемом стало воздействие на масла электрических, магнитных, электромагнитных полей, изменяющих структуру и свойства молекул масла и присадок. Деструкция конгломератов молекул присадок и масел, образование активных радикалов, поляризация компонентов масел, насыщение их зарядами и перенос зарядов на поверхности трения приводят к улучшению триботехнических свойств сопряжений трения.

Полярные компоненты масел под влиянием поверхностной энергии объединяются в глобулы, что уменьшает их взаимодействие с поверхностями тре-

ния и снижает антифрикционные свойства. Электрическим воздействием на масла можно деструктировать глобулы присадок и кластеры масел, обеспечить их упорядоченную адгезию, что, как подтверждено испытаниями, существенно улучшает триботехнику сопряжений. Испытаниями дизеля в МАДИ выявили эффективность прямой подачи напряжения на поверхности трения, омываемые маслом. Значительным резервом в повышении экономичности ДВС является активация их топлив. Поэтому известно не поддающееся полному анализу большое число магнитных, электромагнитных, электрических, комбинированных устройств, встраиваемых с различной эффективностью в топливные магистрали ДВС. Но значительный прогресс в этом получен только с механохимическим активатором по патенту РФ № 2411074 [14].

Цель исследования – подтвердить лабораторными и эксплуатационными испытаниями эффективность триботехнических составов, электризации моторных, трансмиссионных масел на уменьшение трения, изнашивания, а также активации моторных топлив на экономичность автомобилей.

Материалы и методы. Проведен анализ исследований по воздействию на трение в моторных и трансмиссионных маслах серпентиновых трибосоставов, электрических зарядов, выполнены испытания на трибометре TRB-S-DE, эксплуатационный контроль 29 автомобилей на топливную экономичность при введении в их масла трибосоставов «Fe-do», электрических зарядов с прибора Инжинирингового центра «ЛИК». Обобщены результаты стендового, эксплуатационного контроля расхода топлив в ДВС и хроматографии моторных топлив, обработанных активатором по патенту РФ № 2411074.

Результаты и обсуждение. Самые показательные в инновационной триботехнике, стендовые испытания автомоторов ВАЗ-2105 проведены в Санкт-Петербургском политехническом университете (рис. 1 из журнала «За рулем»).

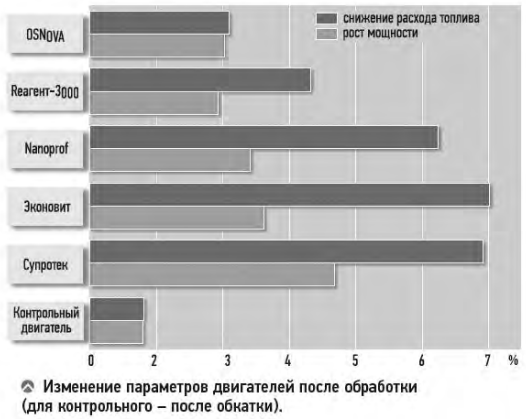


Рис. 1. Изменения показателей трибообработанных ДВС ВАЗ-2105 (журнал «За рулем»)
Fig. 1. Changes in the performance of the engine VAZ-2105 (magazine «Behind the wheel»)

В их подтверждение Наноцентром ГОСНИТИ из отходов Сарановской шахты «Рудная» – порошков аппооливинового лизардита $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ –разработан свой трибосостав. Его сравнительные испытания проведены на трибометре TRB-S-DE со стальной парой «палец-диск» в масле М-10Г2К при скорости скольжения 1 м/с в тринадцатиступенчатом нагружении до давления 220 МПа (рис. 2). Испытания показали высокие триботехнические свойства масла фирмы Мобил, одного из лучших мировых, хорошие антифрикционные свойства составов «ЦНТ», МС-2, КАРАТ-5 и КАРАТ-М, а

состав «Сарановский» оказался одним из лучших серпентиновых и приближает масло М-10Г2К среднего качества (CD по API) к высшему уровню масла фирмы Мобил класса SJ/SL. Подтверждена эффективность серпентиновых составов РФ (более 60) и продвинутых в Японию, Финляндию, Чехию, Германию, Китай, в другие страны. С 1987 г. ими трибообработаны десятки тысяч самых разных гражданских и военных изделий, а только автомоторов – более 1 млн. Фундаментальные электрофизические и триботехнические исследования электрообработанных масел проведены в Украинской академии железнодорожного транспорта (УкрДАЗТ). Исследовано влияние на масла электростатического, магнитного и электромагнитного полей.

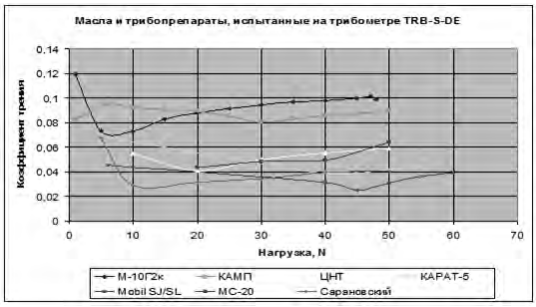


Рис. 2. Коэффициенты трения пары палец-диск в масле Mobil API SJ/SL SAE 05W-30, в масле М-10Г2К (ЗАО Роснефть) и с введенными в последнее трибосоставами: КАМП (ООО «Автостанкопром»), MEGAFORSE (ООО «ЦНТ»), МС-2 (ГОСНИТИ и ООО «РИП»), «Сарановский» (ГОСНИТИ и ВИЭСХ), наноалмазные КАРАТ (ООО «Реал-Дзержинск» и Красноярский ИХХТ)
Fig 2. The coefficients of friction of the pair «finger-disk» in the oil: Mobil, API SJ/SL SAE 05W-30; M-10G2K and introduced in the last triboactive: CAMP, MEGAFORSE, MS-2 (GOSNITI and OOO «RIP»), «Sarnowsky» (GOSNITI and VIESH), nanodiamond CARAT (OOO «Realdzerjinsk» and ICCT Krasnoyarsk)

Подтвердили существенное влияние полей на молекулы присадок и полярных молекул масел. Формировать полимолекулярный слой смазки можно усилением силового поля поверхностей трения подводом энергии извне или электростатическим, электромагнитным воздействием на присадки в маслах, когда их мицеллы либо разрушаются в сильных полях, либо преобразуются в упорядоченные группы – дипольные «пакеты». С последними вдвое увеличивается толщина смазочного слоя, особенно при меньших температурах, на 30-40% повышается его несущая способность, заметно уменьшаются силы трения и изнашивание. Формирование жирными кислотами полимолекулярных слоев отмечал еще А.С. Ахматов [13]. В УкрДАЗТ создали несколько вариантов устройств на напряжения полей 1000 В/мм, через которые электрообработанные масла стекают в картеры дизелей, баки гидросистем. В Наноцентре ГОСНИТИ провели испытания 10 проб масел М-10Г2К. Выявили снижение коэффициента трения на 15-35%. Близкие результаты получили в Наноцентре и при аналогичных испытаниях масел, обработанных подобным же образом к.т.н. Сербиным В.В. (ВИЭСХ).

Более простой прием электровоздействия на масла – это эмиссия в них электрических зарядов с АКБ машин или других источников 70-100 В постоянного тока. Так, нерегулируемым низковольтным преобразователем напряжения до 50 В – электронным регулятором трения (ЭРТ) от «ИЦ «ЛИК», апробиро-

ванным на большом числе автомобильных ДВС, на других агрегатах, можно усиливать смазочное действие (рис. 3). Поэтому ЭРТ увеличивает ресурс узлов трения путем снижения их износа на 25-30%. Поляризация молекул масел и присадок усиливает их адгезию к поверхностям трения, изменяет их ориентацию, увеличивает толщину смазочной пленки и скорость ее образования. Но быстрое ухудшение эффекта с отключением электризации масел позволяет считать главным разряд зарядов на поверхностях деталей с теми же следствиями.

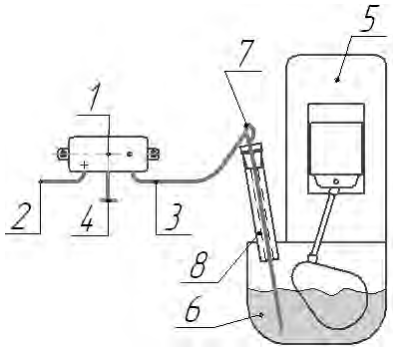


Рис. 3. Схема подключения ЭРТ на ДВС: 1 – поляризатор, 2 – вход электропитания, 3 – выход на масломерный щуп, 4 – выход на массу агрегата, 5 – агрегат, 6 – масло агрегата, 7 – масломерный щуп, 8 – изолирующая трубка (капролон, полихлорвинил)

Fig 3. Wiring diagram for ERT on the engine: 1 – polarizer, 2 – power supply input, 3 – output to the oil dipstick, 4 – output to the unit weight, 5 – engine, 6 - oil, 7 – oil dipstick, 8-insulating tube (caprolon, polychlorinated)

ЭРТ (ТУ 3415-003-620121172-2010, ПМ № 59198) можно устанавливать во многие агрегаты. Он безопасен, на его применение не требуется разрешений, специально обученного персонала. Достоинство ЭРТ: его действие постоянно и не зависит от вида жидкой смазки, сопряжения, режимов трения. Но после отключения ЭРТ параметры, например ДВС, снижаются до исходных. К концу 2018 г. в РФ более 100 отечественных и импортных автомобилей работают с ЭРТ. Отмечено повышение приемистости ДВС, отрицательных случаев нет. Возможно применение промышленных регулируемых и не регулируемых преобразователей 12/36, 12/50 В, а целесообразно до 100 В. Использование ЭРТ в сравнении с аппаратами УкрДАЗТ проще, например, через изолированные масломерный щуп, сливную пробку, любую деталь в картерном масле, вставку в маслофильтре (рис. 3). ЭРТ апробирован и на редукторах насосов, нефтекачалок, дизелях морфлота.

Испытания ЭРТ впервые проведены на машине трения «Тимкен», и даже с нейтральным касторовым маслом задиров не было (ГОСТ 18102). То есть граничная смазочная пленка даже неполярных углеводородов держалась прочнее. В Финляндии в сертифицированной диагностической лаборатории на барабанном стенде провели испытания автомобиля AUDI A4 с ЭРТ при имитации загородной езды: 85 км/ч и 142,09 км/ч. Выявили, что на скорости 85 км/ч экономия топлива 22,4%, а в форсированном режиме 142 км/ч – 3,7%. Там же в стендовых испытаниях дизеля в форсированном режиме экономия топлива составила минимум 3,2%. Таким образом, оба Финских испытаний показали экономию топлива более 3%.

Аналогичную эффективность получили при испытаниях ДВС ВАЗ-2108

в Политехническом университете (Санкт-Петербург). В результате контроля 276 параметров работы ДВС показано, что механические потери в нем уменьшались на 5,5%, расход топлива на 4,3%, температура ОГ на 6-10°С, содержание СО и СН на 19%, но содержание NOx увеличилось на 6,53%. Эффективный КПД ДВС повысился на 4,62%, а мощность на 1%. Экономия топлива выявлена на бензиновом и на дизельном ДВС. По данным ИЦ «ЛИК», расхода бензина, дизельного и газового топлива с ЭРТ снизился на 10-12%.

В Наноцентре ГОСНИТИ проведены трибоиспытания стальной пары «палец-диск» в масле М-10Г2к по коэффициенту трения и износу при эмиссии в масло электричества. При стандартной для трибометра TRB-S-DE методике испытаний в режиме ступенчатого нагружения электричество вводили в бурун масла за пальцем трибопары через разные электроды.

В начале провели испытания на двух макетах, имитирующих ЭРТ, с низкочастотным напряжением 3 В, с высокочастотным униполярным сигналом 32,9 В. Их анализ показал, что макеты ЭРТ в режимах 5-30 кГц несколько снижают коэффициент трения при средних и повышенных нагрузках, а при напряжении 32,9 В это снижение наибольшее, до 0,010.

Для снижения изнашивания в 1,5 раза благоприятнее низкие частоты (до 10 кГц) и повышенное напряжение сигнала. Поэтому в перспективе целесообразно использовать безопасное, согласно ПУЭ, униполярное импульсное напряжение до 100 В. Аналогично провели испытания и самого ЭРТ с медным, алюминиевым, оловянным, цинковым, стальным, угольными электродами (рис. 4). Выявили повышенную в сравнении с макетами эффективность (снижение коэффициента трения на 0,0193-0,0589). Эксплуатационные испытания ЭРТ в ГОСНИТИ провели на автомобиле ВАЗ-2131М (инжекторный ДВС ВАЗ-21214, пробег 55372 км). Расход топлива контролировали прибором «Prestige y55» в управлении ДВС. Паспортный расход – 12,0 л/100 км бензина А-95, фактический – 9,5 л/100 км бензина А-92.

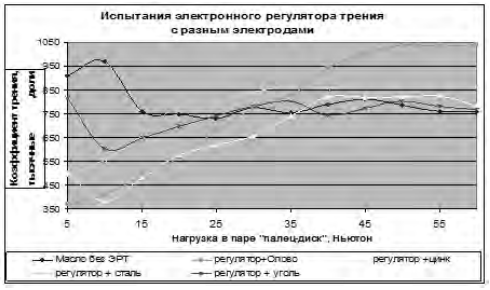


Рис. 4. Результаты испытаний поляризатора от центра «ЛИК»: с цинковым электродом при нагрузке 10 Н коэффициент трения снизился на 0,0589, к 0,0355-0,0360
Fig 4. The test results of the polarizer from the center "LIK": with a zinc electrode at a load of 10 N friction coefficient decreased by 0.0589, to 0.0355-0.0360

В испытаниях минимальная экономия бензина составила 0,18 л/ч (3%), а в сравнении с городской ездой 9-11%. По мнению испытателя, автомобиль к тому же стал динамичнее. Испытания ЭРТ с вводом в масла серпентинового трибосостава «Fe-do», проведены Пустовым И.Ф., но постоянно включили ЭРТ только после очистительной обработки ДВС составом «Fe-do». Она производит удаление отложений с поверхностей трения и повышает эффективность ЭРТ, когда открыты ювенильные, каталитически активные по-

верхности трения. Постоянное включение ЭРТ производили через 1-2 тыс. км пробега от обработки трибосоставом «Fe-do» со свежим маслом. А напряжение с ЭРТ подавали на «антенну» из набора шайб, вводимую в сливное отверстие масло поддона ДВС.

После трибообработки 25 автомобилей, участвовавших в пробеге на трасе Санкт-Петербург – Петрозаводск, расход топлива снижался на 5-6%, а с ЭРТ – еще на 2-3%. ЭРТ апробировали и на трибообработанных составом «Fe-do» агрегатах трансмиссии. Напряжение с него подавали на изолированные стержни через контрольные отверстия в корпусах агрегатов. И расход топлива снижался еще на 1,5-2%, а в целом – на 8,5-11%.

На автомобиле Ford F-150 с пробегом 250 тыс. км расход топлива на контрольной трассе составлял 15 л/100 км, а после трибообработки ДВС и подключения поляризатора – 13,7 л/100 км. Подключение же поляризатора к трибообработанным КП, двум ведущим мостам, к раздаточной коробке снизило расход до 13,2 л/100 км, а далее до 10-11 л/100 км, то есть на 30%.

Провели исследование электровоздействия на масла промышленными преобразователями 12/50 В на двух контрольных автомобилях. Первый – АУДИ 100, второй – дизельный с турбонаддувом АУДИ А4. На первом ДВС отремонтирован, обработан трибосоставом «РВД», обкатан. Средний расход бензина составил 10,6 л/100 км. Первый контроль – в пробеге Москва – Екатеринбург, 2250 км, экономия топлива составила 8-12%. В обратном пути с прицепом (400-450 кг) экономия повысилась до 16-18%, т.е. расход топлива был, как в движении без прицепа. Далее средний расход бензина составлял 8,5-8,6 л/100 км, а без преобразователя – 9,6-9,8 л/100 км, т.е. экономия 12%. С преобразователем на конец 2018 г. автомобилем пройдено около 25 тыс.км. На дизельном автомобиле с преобразователем пройдено более 24 тыс. км. После трибообработки ДВС трибосоставом «РВД» расход составлял 4,2-4,3 л/100 км. С ЭРТ расход снизился к 3,9-3,8 л/100 км, как по показаниям бортового компьютера, так и фактически, т.е. уменьшился на 11,05%. В пробеге Чистополь – Казань и обратно испытания ЭРТ проведены на триботехнически не обработанном автомобиле Хундай АХ 35. Поэтому здесь экономия бензина значительнее: при обычном расходе 11 л/100 км с ЭРТ расход снижался до 7-8,5 л/100 км.

Непрерывное повышение стоимости моторных топлив требует экстремальных инноваций для их экономии, хотя с 1940 г. известно неподдающееся полному анализу большое разнообразие средств активации бензинов, уменьшающих их расход в ДВС. Это механические кавитаторы и гомогенизаторы, магнитные, электромагнитные, искровые устройства, картриджи с химикатами НАТИ и других организаций [8]. Их эффективность заключается в уменьшении расхода топлив на 5-15%. В настоящее время появляются и новые устройства. В Тамбовском государственном техническом университете создан активатор (патент № 2411074, рис. 5). В цилиндре длиной 150 мм, диаметром 30-50 мм из трех камер он встраивается в топливную систему ДВС до 150 л.с., не содержит химических веществ. Трехкратное в нем воздействие обусловливает необратимость и пролонгированность модификации топлив – особое достоинство активатора. В Военном учебно-научном центре Военно-воздушной академии (г. Воронеж) проведены моторные испытания активатора на ДВС КамАЗ-740, ЗМЗ-406 и ЯМЗ-236. По комплексу методик ускоренных испытаний нефтепродуктов на натурных агрегатах, модельных одноцилиндровых установках, в ДВС в сочетании с испы-

таниями по методикам контроля, указанным в НТД на нефтепродукты, во Всероссийском научно-исследовательском институте использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ВНИИТиН, г. Тамбов) проверены бензины 8 марок и дизельные топлива (ДТ) трех марок

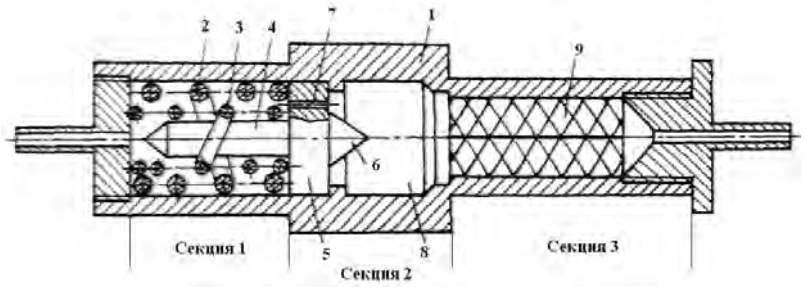
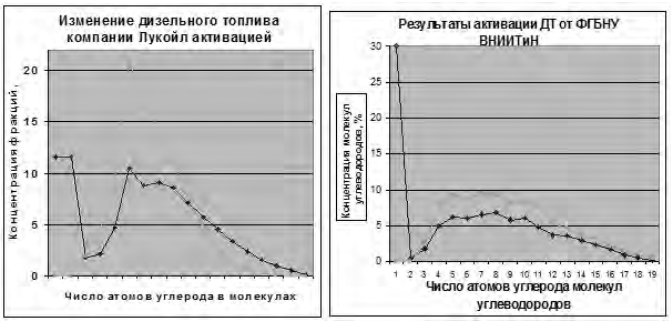


Рис. 5. Схема комбинированного статического смесителя-активатора по патенту РФ № 2411074: 1 – корпус, 2 и 3 – витые элементы, 4 – стержень, 5 – диск с микроканалами, 6 – конус стержня, 7 – каналы, 8 – промежуточная камера, 9 – смеситель из перекрещивающихся решеток.
Fig 5. The combined static mixer-activator according to the patent of RF № 2411074: 1 – body, 2 and 3 – twisted elements, 4 – core, 5 – disc micro-channels, 6 – cone of the rod, 7 – channel, 8 – camera intermediate, 9 – mixer of the crossbars

ДТ и бензины многих марок, авиакеросин, рапсовое масло до и после активации исследованы на хроматографе «Кристаллюкс-4000М» Тамбовской лаборатории судебно-медицинской экспертизы. ДТ испытаны в камере холода КХТВ-0,08 Тамбовского центра стандартизации и метрологии, а дымомером МЕТА-01 контролировали ОГ ДВС КамАЗ-740 автобуса НефАЗ-5299. Активатор испытан на многих легковых автомобилях, на дизеле Д-240. В одном пробеге автомобиля Митцубиси Паджеро 1995 года выпуска активатор уменьшил путевой расход бензина на 31,9%. Стендовые испытания разных активаторов показали уменьшение расхода ДТ на 26,5-28,6%, а бензина на 21,3, 27,7 и 31,9% с заметным снижением в ОГ ДВС содержания СНх. Хроматограммы активированных ДТ и бензина показали: уменьшение содержания молекул с числом атомов углерода более 10; образование легких гексана, гептана, 3-м пентана до 37%, а в ДТ – отсутствующего в товарном топливе октана до 30%; снижение содержания серы с 0,032 до 0,015%, смол – с 7,4 до 0,8 мг/100 мл. В бензине содержание октаноопределяющего толуола повышалось до 16%, в авиакеросине – нонана и декана до 21%. Испытания в Rochester Institute of Technology (США) показали уменьшение в топливе содержания серы до 50%, смол в 7-9 раз, выбросов в ОГ: NO – до 17%, NO_2 – до 14, – а CO – до 49%. Со снижением плотности объем активированного топлива увеличивался на 2,49%. Автор активатора исследовал изменение состава ДТ компаний ТНК, МНПЗ, LIQVI MOLY, ТЕКСАКО, Роснефть (два), Лукойл (два), импортных ДТ класса ЕВРО-4 – два. Выявлено уменьшение содержания пристана, фитана, особенно декана, молекул С11-С14, С11-С18, незначительное убытие молекул С19-С25, а в ДТ фирмы LIQVI MOLY молекулы С11-С13 исчезли полностью. На рисунке 6 показаны модификации некоторых ДТ. Выявлено появление в активированном, например ДТ, легкого гептана – до 30%. Установлено также, что преобразование ДТ длительно продолжается и после активации.



a) *b)*

Рис. 6. Изменение состава ДТ по данным хроматографии: a) – ДТ компании «Лукойл», где резко уменьшилось содержание фракций C11H24–C14H30, но образовалось 23% фракций C6H14, C7H16.; b) – ДТ, представленное ВНИИТиН (верхние красные линии – исходные топлива, а синие нижние линии – разрушены тяжелые и образованы легкие фракции топлив)

Fig 6. Changes in the composition of diesel fuel according chromatography: a) – DT of the company "LUKOIL", which sharply decreased the content of fractions C11H24–C14H30, but formed 23% of the fractions C6H14, C7H16.; b) – DT, presents VMIITIN (upper red lines of the original fuel, and the lower blue line is destroyed by heavy and formed light fraction fuels)

А ввод доли активированного ДТ в не активированное, повышает в смеси долю активированного. Так при вводе 10% активированного ДТ через 15 мин в смеси образовалось 20% активированного, при 20-30, при 30-35% активированного, но при 40% активированного – в смеси только 35% активированного ДТ. При испытаниях на дизеле ЯМЗ-236 с тремя марками дизельного топлива активатор устанавливали в магистраль ТНВД, в сливе из него и в 11 испытаниях выявлено равное уменьшение расхода ДТ в среднем на 26,3%. Проверка замерзания ДТ Л-0,05-62 компании Роснефть показала, что товарное ДТ при температуре – 30°С полностью потеряло текучесть, а активированное сохранило ее при – 45 °С без образования кластеров. Указанные модификации топлив активатором по патенту № 2411074, по-видимому, повышают их теплотворность. Доказательством этому служат, например, результаты контроля модификаций бензина в НИИ МПС (табл.).

Таблица

Результат преобразования молекул углеводородов бензина под влиянием, электромагнитного воздействия

Исходная фракция, теплота сгорания, Q, кДж/моль	Состав фракций		Конечные фракции	Суммарная теплота сгорания преобразованного топлива, Q, кДж/моль	Положительный эффект, %
	1-я фаза	2-я фаза			
C_8H_{18} Q = 5470	$2C_2H_2$	$2C_2H_2$	$2C_2H_2$	Q = 7001	28
	$0,5C_2H_4$	$0,5C_2H_3$	$0,5C_2H_3$		
		0.5H	0.5H		
	$3CH_4$	$3CH_3$	$3CH_3$		

Описанные инновационные приемы в ТО МТП особенно актуальны для изношенных машин и оборудования АПК. Для их широкого внедрения нужна активная работа научно-исследовательских институтов, частных компаний, государственная поддержка. Необходима также отработка ввода в си-

стемы смазки агрегатов вставок из магния или его сплавов, картриджей с активными веществами, использование тканных материалов (препрегов), пропитанных трибосоставами. Для реализации комплекса операций «безразборного сервиса» ДВС, силовых передач, гидравлики, ТНВД необходимо издавать подобные рекомендации [15, 16]. Назрела необходимость стандартизации применения достижений триботехники, чтобы полнее реализовывать инновационные приемы сервиса машин и оборудования в АПК [17].

Выводы. Достижения науки и практики создали эффективные приемы повышения надежности узлов трения и экономичности машин и оборудования. Насыщение масел электрическими зарядами –малозатратный, эффективный энерго- и ресурсосберегающий прием эксплуатации ДВС, силовых передач, гидрооборудования, актуальный для МТП АПК. Приемы механохимической обработки позволяют не только существенно уменьшить расход топлива ДВС, но и значительно снижать температуру замерзания, дымность ОГ дизелей. Активатор может улучшать первичное моторное топливо РФ до норм ЕВРО-3, ЕВРО-4 с удалением серы и разрушением смол.

Библиографический список

1. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность? СПб.: Иван Федоров. 2004. 216 с.

2. Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты). СПб.: Наука. 2005. 400 с.

3. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Пономаренко А.Г., Чигаренко Г.Г., Бойко М.В. Структура смазочных слоев, формируемых при трении в присутствии присадок минеральных модификаторов трения // Трение и износ. 2009. N5 (30). С. 516-521.

4. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Пустовой И.Ф., Шабанов А.Ю. Эксплуатационные эффекты применения минералов как активных агентов смазочных сред // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N3. С. 38-44.

5. Дунаев А.В., Пустовой И.Ф. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании геомодификаторов трения // Двигателестроение. 2018. N3 (273). С. 29-34.

6. Дунаев А.В., Филиппова Е.М. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса техники. Итоги 25 лет развития. М.: ГОСНИТИ. 2017. 252 с.

7. Селютин Г.Е., Дунаев А.В. Углеродные наноразмерные триботехнические материалы // Автомобильная промышленность. 2017. N5. С. 37-40.

8. Дунаев А.В. Нетрадиционная триботехника. Итоги развития в России. Lambert Academic Publishing, 2018. 217 с.

9. 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.

10. Пат. 59198 Российская Федерация. Электронный регулятор трения / Любимов Д.Н., Вершинин Н. К., Иванов А.Е., Голенкова И.В.; патентообладатель Закрытое акционерное общество Промышленная группа «Ростех»; опубл. 2006.12.10.

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

12. Пат. 2624927 Российская Федерация. Способ повышения эффективности смазочного масла / Дунаев А.В., Воронин С.М., Любимов Д.Н., Остриков В.В.; патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ.

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

14. Воробьев Ю.В., Дунаев А.В., Малахов В.А. Механохимическая обработка то-

плива – резерв повышения топливной экономичности автотранспорта в горной промышленности // Горный журнал. 2017. N10. С. 92-94.

15. Дунаев А.В. Углубленный сервис машин нетрадиционными приемами // Промышленный сервис. 2017. N3. С. 26-34.

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

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

References

1. Shabanov A.Yu. Essays on modern chemistry. Myths or reality? Saint-Petersburg: Ivan Fedorov. 2004. 216.

2. Zuev V.V. Constitution, properties of minerals and structure of the earth (energy aspect). Saint-Petersburg: Science. 2005. 400.

3. Lyubimov D.N., Dolgopolov K.N., Ponomarenko A.G., Chigarenko G. G., Boyko M.V. Structure of lubricating layers formed by friction in the presence of additives of mineral friction modifiers. Friction and wear. 2009. N5 (30). 516-521.

4. Lyubimov D.N., Dolgopolov K.N., Pustovoi I.F., Shabanov A.Yu. The effect of using minerals as active agents of lubricating media. Tractors and agricultural machinery. 2015. N3. 38-44.

5. Dunaev A.V., Pustovoi I.F. Mechanisms of formation of tribological coatings when using geomodificators friction. Engine. 2018. N3 (273). 29-34.

6. Dunaev A.V., Filippova E.M. Unconventional tribology for enhancing the life of equipment. The results of 25 years of development. M.: GOSNITI. 2017. 252.

7. Selutin G.E., Dunaev A.V. Carbon nanoscale tribotechnical materials. Automotive industry. 2017. N5. 37-40.

8. Dunaev A.V. Non-traditional tribology. Results of development in Russia. Lambert Academic Publishing. 2018. 217.

9. Voronin S.V., Dunaev A.V. The influence of electric and magnetic field on the mechanism of action of oil additives. Friction and wear. 2015. Vol. 36. N1. 643-649.

10. Stalemate 59198 Russian Federation. Electronic regulator Friction / Lyubimov D.N., Vershinin N.K., Ivanov A.E., Golenkova I.V.; patent holder Rostec Industrial group Closed joint stock company; it is published 2006.12.10.

11. Lyubimov D.N., Dolgopolov K.N., Vershinin N.K., Dunaev A.V. Efficiency polarization oils – an innovative factor of modernization machines. Proceedings of GOSNITI. 2014. Vol. 116. 40-44.

12. Pat. 2624927 Russian Federation. A method of increasing the efficiency of lubricating oils / Dunaev A.V., Voronin S.M., Lyubimov D.N., Ostrikov V.V.; patent holder of the Federal agricultural research center VIM.

13. Akhmatov A.C. Molecular physics of boundary friction. Moscow: Fizmatgiz, 1963. 472.

14. Vorobiev Yu.V., Dunaev A.V., Malakhov V.A. Mechanochemical treatment of the fuel – reserve to improve the fuel economy of vehicles in the mining industry. Mining Journal. 2017. N10. 92-94.

15. Dunaev A.V. In-Depth service of machines with non-traditional techniques. Industrial service. 2017. N3. 26-34.

16. Dunaev A.V., lyalyakin V.P., Solovyev R.Yu. Technological recommen-dations for increasing the resource units of the tractors repair and rehabilitation additives for oil lubricants. Moscow: Rosinformagrotekh. 2013. 96.

17. Dunaev A.V., Kazakova V.A., Shinkevich V.A. Improvement of technical operation of the tractor fleet. Standards and quality. 2017. N9 (963). 58-61.

УДК 631.316.272

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Галина Андреевна Семенова, аспирант; g-semenova@rambler.ru;
Нозим Исмоилович Джабборов, доктор технических наук,
профессор, ведущий научный сотрудник
Институт агроинженерных и экологических проблем
сельскохозяйственного производства – филиал
Федерального научного агроинженерного центра ВИМ,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. *Вероятностный характер нагрузки служит основной причиной ухудшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов. Вероятностные условия функционирования машинно-тракторных агрегатов должны быть учтены при разработке и проектировании почвообрабатывающих машин, при прогнозировании показателей оценки их эффективности с высокой степенью достоверности. (Цель исследования) Обосновать конструктивные параметры новых динамичных (адаптивных, автоматически настраивающихся к почвенным условиям) рабочих органов для поверхностной обработки почвы, обеспечивающих повышение тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. (Материалы и методы) Применили методы математического моделирования, основанные на изучении физических закономерностей, протекающих в процессе обработки почвы; анализ и обобщение экспериментальных данных. Установили, что новизна исследований заключается в обосновании рациональных конструктивных параметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов на основе комбинации известных и применении новых математических моделей. (Результаты и обсуждение) Привели краткий анализ исследований по повышению эффективности технологии обработки почвы, показатели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов, схема к определению степени влияния динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с изменяемой геометрией на тяговое сопротивление и меру его рассеяния. Изложили краткое описание полезной модели – рабочего органа для рыхления почвы. Определили рациональные значения конструктивных параметров, такие как максимальная высота вспушенного слоя почвы, минимальная высота стойки динамичного рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы, угол крошения и межследия рабочих органов, а также другие параметры. (Выводы) Обоснованные рациональные параметры позволяют создать динамичные рабочие органы, обеспечивающие снижение влияния вероятностного характера нагрузки на энергетические параметры почвообрабатывающих агрегатов и тем самым улучшить их эксплуатационные качества при выполнении технологических процессов.*

Ключевые слова: *обработка почвы, динамичные рабочие органы, конструктивные параметры, почвообрабатывающий агрегат.*

Для цитирования: *Семенова Г.А., Джабборов Н.И., Обоснование конструктивных парметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 60-66.*

JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE PARMETR OF DYNAMIC SOIL-CULTIVATING WORKING BODIES

Galina A. Semenova, postgraduate student, g-semenova@rambler.ru;
Nozim I. Dzhabborov, Dr.Sc(Eng.), professor, leading researcher
nstitute of agroengineering and environmental problems of agricultural production – branch of the Federal scientific agroengineering center VIM, St. Petersburg, the Russian Federation

Abstract. *Substantiation of the rational design and technological parameters with due account for the working conditions of tools and machines and the possibility of lowering their traction resistance will improve the performance of the tillage units and, in general, reduce the energy intensity of the technological process of tillage. (Purpose of research) To Prove design data new dynamic (adaptive, automatically adjusted to soil conditions) the working bodies for surface treatment of the soil providing increase in traction and dynamic indicators of soil-cultivating units. (Materials and methods) The methods of mathematical modeling based on studying of the physical regularities proceeding in processing of the soil Applied; analysis and generalization of experimental data. Established that the novelty of researches consists in justification of rational design data of dynamic soil-cultivating working bodies on the basis of a combination known and application of new mathematical models. (Results and discussion). The article presents brief analysis of studies aimed to improve the tillage efficiency, performance indicators of relevant tractor/implement systems, and the scheme to determine the degree of influence of dynamic soil-cultivating working body with variable geometry on traction resistance and the measure of its dispersion. The utility model – a soil-loosening tool is described. Rational values of design parameters such as the maximum height of the loosened soil layer, the minimum height of the tine of the dynamic working tool from the supporting surface to the lower plane of the frame, the angle of crumbling and other parameters have been established. Reasonable rational parameters allow creating dynamic working tools, which ensure a decrease in the influence of the probabilistic nature of the load on the energy parameters of soil cultivating units and, thereby, improve their performance in technological processes (Conclusions). To improve the efficiency of soil tillage and operational parameters of relevant tractor/implement systems, new dynamic soli tilling tools need to be designed, which would provide the automatic changing of approach and crumbling angles, the working width and the front projection within acceptable limits. The major design parameters of dynamic work tools have been justified, which would improve the performance of soil tilling units.*

Keywords: *tillage, dynamic tool, design parameter, tillage tractor/implement system.*

For citation: *Semyonova G.A., Dzhabborov N.I., Justification of constructive parmetr of dynamic soil-cultivating working bodies. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 60-66.*

Введение. Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов существенно влияют на энергоэффективность технологии обработки почвы. Эксплуатационные качества МТА характеризуются их производительностью, топливной экономичностью и проходимостью (рис. 1).

Рис. 1. Эксплуатационные качества почвообрабатывающих агрегатов

Эксплуатационные качества МТА зависят от конструкторско-технологических параметров рабочих органов, машин и динамических процессов, происходящих во время выполнения технологических процессов. Динамические процессы, совершающиеся в ходе работы почвообрабатывающих агрегатов на повышенных скоростных и нагрузочных режимах, имеют сложный характер и зависят от физико-механических характеристик почвы и других факторов. Для повышения эффективности технологии обработки почвы и улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов необходимо создать новые динамичные почвообрабатывающие рабочие органы с улучшенными динамическими показателями, обеспечивающими высокое качество работы. Динамичные почвообрабатывающие рабочие органы могут легко адаптироваться к удельному сопротивлению почвы благодаря автоматическому изменению углов атаки и крошения, ширины захвата, а также площади фронтальной проекции при заданной глубине обработки почвы [1]. Расчеты показывают, что использование динамичных почвообрабатывающих рабочих органов позволяет уменьшить значение дисперсии тягового сопротивления на 10-20%, повысить степень рыхления почвы на 10-15% и снизить энергоемкость процесса обработки почвы в целом на 10-20% по сравнению со стандартными рабочими органами.

Цель исследования – обоснование конструктивных параметров новых динамичных (адаптивных, автоматически настраивающихся к почвенным условиям) рабочих органов для поверхностной обработки почвы, обеспечивающих повышение тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов.

Материалы и методы. При проведении исследований применялись методы математического моделирования, основанные на изучении физических закономерностей, протекающих в процессе обработки почвы; анализ и обобщение экспериментальных данных.

Результаты и обсуждение. Исследования показывают, что учеными разработаны различные методы улучшения тягово-динамических показателей МТА на основе совершенствования конструкции, обоснования рациональных параметров и режимов их работы [2-4, 6-10]. Например, отмечена важность управления качеством обработки деформируемого слоя почвы с применением метода конечных элементов, приведены наиболее вероятные значения геометрических параметров зоны разрушения и степени рыхления почвенных фрагментов суглинистой почвы [6].

Совершенствование конструктивно-технологических параметров рабочих органов способствует поддержанию заданной глубины обработки почвы и обеспечивает стабильность хода. Для исключения нестабильности хода рабочих органов рекомендуют использовать на культиваторе КПС-4 двухъярусные стрельчатые лапы, состоящие из двух лемехов (верхней и нижней), закрепленные на одной стойке [7]. Предложенная стрельчатая лапа обеспечивает высокое качество крошения почвы и высокую стабильность глубины хода рабочих органов.

Для повышения эффективности обработки почвы различной твердости разработан пропашной культиватор с возможностью автоматической настройки стойки с разными рабочими органами для поддержания глубины обработки [8]. Предложенный способ обеспечивает снижение тягового сопротивления на 30-35% по сравнению с жестким вариантом крепления стоек. Совместные исследования ВИМ и Брянского ГАУ установили, что изменение формы лемеха обеспечивает снижение энергоемкости обработки почвы. Наивысший показатель степени заделки растительных остатков соответствует углу отбортовки лезвия лемеха 4 градуса, а наилучшее качество рыхления суглинистых почвы обеспечивается работой лемеха с углом отбортовки его лезвия 2 градуса .

При обработке почвы различными рабочими органами на верхней рабочей поверхности клина и на нижней затылочной фаске лезвия образуется почвенный нарост, что повышает затраты энергии на обработку почвы. Установлено, что рациональная заточка и повышение износостойкости лезвия уменьшают энергозатраты на обработку почвы до 10 МДж на 1 га. Применение обтекаемых форм рабочих поверхностей может предотвратить появление зоны с почвенным наростом, что снижает тяговое сопротивление рабочего органа. Известные методы, хотя и обеспечивают повышение эффективности обработки почвы, недостаточны для существенного улучшения тягово-динамических показателей почвообрабатывающих агрегатов. Мы предложили новый способ улучшения динамических показателей на основе разработки и применения динамичных рабочих органов, то есть с изменяемой геометрией. При встрече динамичного почвообрабатывающего рабочего органа с твердым слоем почвы происходит автоматическое (мгновенное) уменьшение площади его фронтальной проекции в определенных ограниченных пределах, что позволяет ему с меньшим сопротивлением $\overline{P}_2$ проходить твердый слой по сравнению с сопротивлением $\overline{P}_1$ стандартных рабочих органов с постоянной площадью фронтальной проекции (рис. 2). Использование динамичных рабочих органов обеспечивает уменьшение среднего значения тягового сопротивления от почвы $\overline{P}_1$ до $\overline{P}_2$ на величину $\Delta\overline{P} = \overline{P}_1 - \overline{P}_2$ среднего квадратического отклонения тягового сопротивления от σ_{P1} до σ_{P2}. При этом размах колебаний тягового сопротивления уменьшается от $\pm 3\sigma_{P1}$ до $\pm 3\sigma_{P2}$. Автоматическое кратковременное уменьшение площади фронтальной проекции в определенных пределах позволяет снизить коэффициент вариации тягового сопротивления рабочего органа и в целом почвообрабатывающей машины, а также среднеквадратического отклонения. Мы разработали рабочий орган для рыхления почвы, который содержит стойку с долотом, жестко закрепленным на башмаке, с которым жестко связан демпфирующий элемент [5].

На демпфирующем элементе жестко закреплены крылья стрельчатой лапы, которые разнесены друг относительно друга: одно крыло закреплено за

башмаком, а другое – в конце демпфирующего элемента, выполненного в виде полосы из пружинной стали.

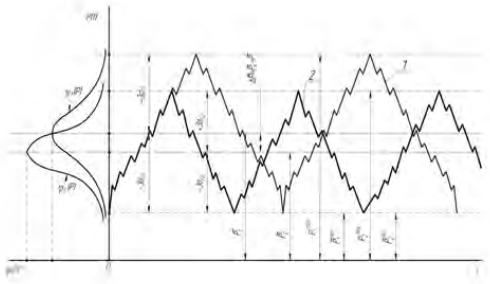


Рис. 2. Определение степени влияния динамичного почвообрабатывающего рабочего органа на среднее значение и коэффициента вариации тягового сопротивления

Такая конструкция позволяет повысить надежность рабочего органа и снизить колебания тягового сопротивления при повышении качества обработки почвы при работе на почве различной плотности. Обоснованы основные конструктивные параметры динамичного рабочего органа. Минимальную высоту стойки динамичного рабочего органа от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно определить по формуле [2]:

$$H_c^{\min} = h_1 + h_2 + a, \tag{1}$$

где h_1 пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней плоскостью рамы; h_2 максимальная высота вспушенного слоя почвы, мм; α – заданная максимальная глубина обработки, мм. Максимальную высоту вспушенного слоя почвы подсчитывают по формуле [2]:

$$h_2 = a / 4 \tag{2}$$

С учетом (1) и (2) высоту стойки динамичного рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы можно найти по уравнению [2]:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4}. \tag{3}$$

Пространство между поверхностью вспушенной почвы и нижней части плоскостью рамы h_1 устанавливают с таким расчетом, чтобы исключить забивание сорняками и сгруживание почвы. При этом $h_1 \geq 300 мм$.

С учетом максимальной глубины обработки почвы для рабочего органа $\alpha = 15$ *см=150 мм*, максимальная высота вспушенного слоя почвы равна $h_2=\alpha/4=15/4=3,75$ *см =37,5 мм.*

Минимальная высота стойки рабочего органа для обработки почвы от опорной поверхности до нижней плоскости рамы с учетом формулы (3) будет:

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4} = \frac{4 \cdot 300 + 5 \cdot 150}{4} = 487,5 мм$$

Максимальная высота стойки рабочих органов с учетом конструкции основной рамы составляет 800 мм. Для получения малых перекрытый целесообразно применение небольших значений угла 2γ, обеспечивающих работу рабочего органа без обволакивания, для этого значение 2γ должно варьи-

ровать в пределах 2γ=60-65° [2]. Здесь γ – угол резания. Угол крошения α , согласно многочисленным исследованиям, должен варьировать в пределах α= 20-30°.

Так, при двухрядном расположении межследия рабочих органов l_m.=*240 мм*. С учетом качества работы динамичных рабочих органов, исключающего огрехи, максимальную и минимальную ширину захвата рабочего органа можно определить по формуле:

$$b_{\max}^{\text{ро}} = l_m + 2 \cdot b_{пер}^{мах} \; ; \qquad b_{\min}^{\text{ро}} = l_m + 2 \cdot b_{\text{пер}}^{\text{мин}} \tag{4}$$

где l_m. ширина межследия рабочих органов, мм; $b_{пер}^{мах}$ – максимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм; $b_{\text{пер}}^{\text{мин}}$ – минимально допустимое перекрытие рабочих органов, мм. Максимальная и минимальная ширина захвата рабочего органа соответственно составляет 330 и 260 мм. Длина и ширина долота: $l_{дол}$=150 мм; $b_{дол}$ =60 мм. Максимальная длина рабочего органа $L_{\text{ро}}^{\text{о}} = 720 мм$.

Выводы. Для дальнейшего повышения эффективности технологических процессов обработки почвы, улучшения эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов целесообразно разработать новые динамичные почвообрабатывающие рабочие органы, обеспечивающие автоматическое изменение углов атаки и крошения, ширины захвата и площади фронтальной проекции в допустимых пределах. Обоснованы основные конструктивные параметры динамичных рабочих органов, обеспечивающих повышение эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов.

Библиографический список

1. Джабборов Н.И., Федькин Д.С. Терradинамика почвообрабатывающих машин // Молодой ученый. 2015. N11 (91). С. 311-315.

2. Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы. М.: Агропромиздат. 1989. 140 с.

3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.

4. Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). Киев: Изд-во АН УССР. 1961. 239 с.

5. Пат. на полезную модель №169104 Российская Федерация/Джабборов Н.И., Евсеева С.П., Семенова Г.А. Рабочий орган для рыхления почвы. Заявка № 2016141036. Приоритет полезной модели 18 октября 2016. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 3 марта 2017 г.

6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N5. С. 17-23.

7. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N6. С. 16-20.

8. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. N2. 2015. С. 28-32.

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

10. Жук А.Ф. Влияние почвенного нароста на работу клина // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N3. С. 24-29.

11. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М.,Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // Вестник ВИЭСХ. 2018 №4(33). С. 150-156.

12. .Елизаров В.П., Артюшин А.А. Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники //Вестник ВИЭСХ. 2018. 2(31) С. 12-18.

References

1. Dzhabborov N.I., Fed'kin D.S. Terradinamika pochvoobrabatyvayushchih mashin [Terradynamics of soil tillage machines]. Molodoj uchenyj. 2015. N11 (91). 311-315

2. Trufanov V.V. Glubokoe chizelevanie pochvy [Deep subsoil cultivation]. Moscow: Agropromizdat. 1989. 140.

3. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin [Theory and calculation of soil tillage machnies]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 328.

4. Vasilenko P.M., Babij P.T. Kul'tivatory (konstrukciya, teoriya i raschet) [Cultivators (design, theory and calculation)]. Kiev: Izdatelstvo Academii Nauk USSR. 1961. 239.

5. Patent for utility model of RF no. 169104 / Dzhabborov N.I., Evseeva S.P., Semenova G.A. Rabochij organ dlya ryhleniya pochvy [Tool for soil loosening]. Application No. 2016141036. Priority of useful model on October 18, 2016. It is registered in the State register of useful models of the Russian Federation on March 3, 2017.

6. Lobachevskij Ya.P., Starovojtov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty ryhlitel'nogo rabochego organa [Theoretical and technological aspects of soil loosening tool]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2016. N5. 17-23.

7. Rudenko N.E., Kajvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovacionnaya strel'chataya pochvoobrabatyvayushchayalapa[InnovativeA-hoeforsoiltillage].Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2016. N6. 16-20.

8. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyj ehnergosberegayushchij kul'tivator dlya obrabotki kamenistyh pochv [Adaptive energy saving cultivator for stony soil tillage]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. N2. 28-32.

9. Lobachevskij Ya.P., StarovojtovS.I.,Chemisov N.N.Energeticheskaya i tekhnologicheskaya ocenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa [Energy and technological estimation of soil tillage tool]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2015. N5. 10-13.

10. Zhuk A.F. Vliyanie pochvennogo narosta na rabotu klina [The impact of soil build-up on the work of the wedge]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2013. N3. 24-29.

11. Beilis V.M., Cench Yu.S., Korotkina V. M.,Starovoytov, S.I., Kanev N.G. Trends in the development of progressive machine technologies and machinery in agriculture // Bulletin of viesh. 2018. N4(33). P. 150-156.

12. Elizarov V.P., Artyushin A.A. Cench Yu.S. Perspective directions of development of domestic agricultural equipment. Vestnik VIESH. 2018. 2 (31) pp. 12-18.

УДК 621.431:63

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЗМА МИКРОУДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА НАГАРООТЛОЖЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ

Алексей Семенович Дорохов[1], доктор технических наук, чл.-корр. РАН, профессор РАН, главный научный сотрудник;
Виктор Михайлович Корнеев[2], кандидат технических наук, доцент;
Юрий Владимирович Катаев[2], кандидат технических наук, доцент, e-mail: ykataev@mail.ru
[1] Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва,Российская Федерация
[2] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Реферат. *В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники энергетические, экономичностные и ресурсные показатели работы дизелей выходят за пределы регламентированных значений. Ухудшение этих показателей обусловлено множеством причин, в том числе и образованием на поверхностях деталей двигателя низкотемпературных отложений в виде асфальтосмолистых веществ и высокотемпературных – в виде нагаров. (Цель исследования) Обосновать условия разрушения нагароотложений на деталях двигателя за счет микроударного явления в результате воздействия на них водотопливной эмульсии. (Материалы и методы) Изучили механизм воздействия единичного кавитационного пузырька на поверхность. Установили, что в процессе работы двигателя на водотопливной эмульсии, разрушение нагароотложений на деталях происходит из-за повышенной кинетической энергии молекул воды (пара) под действием локальных знакопеременных изгибных усилий. Определили, что локальные давления, возникающие при этом, нарушают прочность связи внутри нагароотложений; процесс нагароотложения можно рассматривать как волновой. (Результаты и обсуждение) Термодинамический анализ состояния водотопливной смеси в цилиндрах двигателя основывается на том, что одновременно с подводом жидкости на каждом бесконечно малом участке термодинамического процесса отводится количество тепла, равное теплоте испаряющейся жидкости. После перехода воды из жидкого состояния в газообразное, происходит дальнейший отбор теплоты от цилиндровых газов. Пар, образовавшийся в результате испарения капель воды в процессе теплообмена с газами, будет нагреваться, что приведет к изменению теплоемкости смеси и ее внутренней энергии, вследствие чего создаются условия возникновения микроударов. (Выводы) Исходя из результатов анализа проведенных исследований, можно сделать предположение, что рациональным и наиболее эффективным способом является подача воды в камеры сгорания двигателя в парообразном состоянии вместе с воздухом. Подача пара гарантирует отсутствие капельной влаги в двигателе и, следовательно, не способствует процессам износа и коррозии – отрицательным побочным эффектам, имеющим место при использовании водотопливной эмульсии.*

Ключевые слова: *кавитация, кавитационный пузырек, микроударное разрушение, кумулятивная струйка.*

Для цитирования: *Дорохов А.С., Корнеев В.М., Катаев Ю.В. Теоретическая оценка механизма микроударного воздействия воды на нагароотложения в двигателях // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 67-74.*

THEORETICAL EVALUATION OF THE MECHANISM OF MICROWAVE EFFECTS OF WATER ON COOLING IN ENGINES

Alexey S. Dorokhov[1], Dr.Sc. (Eng), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, professor of RAS, chief researcher;
Viktor M. Korneev[2], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Yury V. Kataev[2], Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: ykataev@mail.ru
[1]Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2]The Russian state agricultural university – MSHA of K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Introduction During the operation of agricultural machinery, energy, economical and resource indicators of diesel engines work are outside the limits of the regulated values. The deterioration of these indicators is due to a variety of reasons, including the formation of low-temperature deposits on the surfaces of engine parts in the form of asphalt-resinous substances and high-temperature deposits in the form of soot. (Purpose of research) To prove conditions of destruction of nagarootlozheniye on engine details at the expense of the microshock phenomenon as a result of impact on them of a water fuel emulsion. (Materials and methods) Studied the mechanism of impact of a single cavitational bubble on a surface. Established that in the course of operation of the engine on a water fuel emulsion, destruction of nagarootlozheniye on details happens because of the increased kinetic energy of molecules of water (couple) under the influence of local sign-variable flexural efforts. Defined that the local pressure arising at the same time break communication durability in nagarootlozheniye; thus, process of a nagarootlozheniye can be considered as wave. (Results and discussion) The thermodynamic analysis of a condition of water fuel mix in cylinders of the engine is based that along with a liquid supply on each infinitesimal site of thermodynamic process the amount of heat equal to warmth of the evaporating liquid is taken away. After transition of water from liquid state in gaseous, there is a further selection of warmth from cylinder gases. Steam formed as a result of evaporation of drops of water in the course of heat exchange with gases will heat up that will lead to change of thermal capacity of mix and its internal energy owing to what conditions of emergence of microblows are created. (Conclusions) Proceeding from results of the analysis of the conducted researches, it is possible to make the assumption that a rational and most effective way is water supply in engine combustion chambers in a vaporous state together with air. Supply of steam guarantees lack of drop moisture in the engine and, therefore, does not promote processes of wear and corrosion – to the negative side effects taking place when using a water fuel emulsion.*

Keywords: *cavitation, cavitation bubble, micro-impact destruction, cumulative trickle.*

For citation: *Dorokhov A. S., Korneev V.M., Katayev Yu.V. Theoretical evaluation of the mechanism of microwave effects of water on cooling in engines. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 67-74.*

Введение. Нагароотложения в камере сгорания на поверхностях рабочих элементов головки цилиндра, поршней, клапанов и др. представляют собой сравнительно плотные неорганические и углеводородные отложения, являющиеся результатом высокотемпературного химико-термического превращения минеральных и сажистых частиц, смазочных материалов и топлива. Сюда следует отнести также продукты изнашивания деталей машин, накипь. С точки зрения безразборной очистки деталей двигателя паром к ее важным задачам следует отнести оптимизацию параметров подаваемого пара, характера и уровня его воздействия на данный вид отложений, обладающих высокой адгезией к металлу. Также должны быть учтены явления пароструйной эрозии и кавитационного воздействия водно-топливного пузырька, образующегося в камере сгорания двигателя в процессе очистки [1, 2].

Явление образования в жидкости в области пониженного давления пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью называют кавитацией [3].

Возникновение кавитации в жидкости определяется следующими условиями:

– наличием примесей, являющихся причинами образования кавитации;

– физическими и термодинамическими свойствами жидкости;

– величиной и скоростью локальных перепадов давления.

Цель исследования – обосновать условия разрушения нагароотложений на деталях двигателя за счет микроударного явления в результате воздействия на них водотопливной эмульсии.

Материалы и методы. Начало развития кавитации определяется порогом кавитационной прочности жидкости. На кавитационную прочность жидкости влияют такие ее характеристики, как плотность, коэффициент поверхностного натяжения, сдвиговая и объемная вязкости, давление насыщенных паров, теплота парообразования и другие.

Кавитацию классифицируют на гидродинамическую и акустическую. Гидродинамическая кавитация обусловлена значительным локальным понижением давления в жидкости вследствие высоких скоростей течения. Акустическая кавитация возникает в жидкости при возбуждении в ней осцилляций большой интенсивности. При акустической кавитации в полупериоде разряжения образуются парогазовые пузырьки, которые в полупериоде сжатия резко схлопываются.

Кавитационный пузырек служит своеобразным трансформатором мощности. Накопление энергии в фазе расширения идет сравнительно медленно, а ее отдача в фазе сжатия происходит значительно быстрее. При пульсациях кавитационных пузырьков на пленку загрязнений воздействуют динамические нагрузки, величина и характер которых полностью зависят от динамики роста и захлопывания пузырьков [4]. Кавитационные пузырьки, пульсации которых приводят к возникновению ударных волн, производят микроударное разрушение поверхностной пленки. Микроударные нагрузки характеризуются резким повышением давлений до значительной величины, а затем столь же быстрым уменьшением нагрузки.

Результаты и обсуждение. Механизм образования ударной волны при захлопывании кавитационного пузырька можно представить следующим образом: парогазовый пузырек с начальным радиусом R_0 расширяется в начале отрицательного полупериода достаточно медленно, так как давление насыщенных паров воды P_A мало. Как только давление превысит критиче-

ское P_k, пузырек поменяет устойчивость и начинает быстро расти под воздействием повышающегося давления P_A. Резкому нарастанию скорости движения стенки пузырька препятствует присоединенная масса жидкости, увеличение которой идет пропорционально (где R – текущий радиус пузырька), тогда как сила, растягивающая пузырек за счет звукового поля, растет пропорционально R^2. Звуковое давление достигает амплитудного значения, а затем снижается до величины $<P_k$, однако пузырек продолжает расти по инерции весь отрицательный и некоторую часть положительного полупериода. В стадии расширения давление газа в пузырьке снижается примерно в 10^9 раз и внешние силы P_g, действующие на стенку пузырька к началу фазы сжатия (сумма P_A и статического P_0 давлений), во много раз превосходят противодействующее захлопывающее давление парогазовой смеси в пузырьке при $R=R_{max}$. При сжатии стенки пузырька начинают двигаться сначала плавно, а затем с резко возрастающей скоростью, и работа внешних сил затрачивается на увеличение кинетической энергии присоединенной массы жидкости. Давление в парогазовой смеси в пузырьке по мере его сжатия возрастает и становится больше P_g, однако пузырек продолжает сжиматься по инерции, и скорость движения стенки пузырька (R) достигает сначала некоторого максимального значения (R_{max}), когда кинетическая энергия присоединенной массы становится наибольшей, затем начинает падать и переходит в потенциальную энергию сжатого газа. В процессе захлопывания силы, действующие на стенку пузырька, уменьшаются пропорционально R^2, в то время как присоединенная масса жидкости уменьшается пропорционально R^3. То, что $P_g \geq P_{нг}$ в начале фазы захлопывания и P_g убывает медленнее, чем уменьшается присоединенная масса жидкости, вероятно, и есть главная причина возрастания скорости движения стенки пузырька до сверхзвуковой в фазе сжатия, чего не наблюдается в фазе расширения пузырька, когда $P_{нг}$ примерно равно P_g в начальной стадии роста, и P_g растет медленнее, чем увеличивается присоединенная масса жидкости [5].

Вторичное расширение пузырьков происходит вследствие расширения сжатого газа и сопровождается образованием в жидкости ударной волны, радиус действия которой не превышает нескольких микрон.

Критерием эрозионной оценки активности единичного пузырька считается отношение мощности, затраченной на образование ударной волны, к мощности, запасенной единичным пузырьком в течение одного периода колебаний.

Если считать, что вся работа, затраченная на рост пузырька до R_{max}, а также его сжатие до R_{min}, расходуется затем на образование ударной волны, то критерием эрозионной активности служит величина:

$$Э_и = \frac{T}{\tau_o}, \qquad (1)$$

где T – период колебаний, c; τ_0 – время, в течение которого накопленная энергия переходит в энергию ударной волны, c [6].

Величину τ_0 можно определить по выражению:

$$\tau_o = \frac{1{,}7R_{\min}}{\sqrt{P_m^{'}/\rho}}, \qquad (2)$$

где $P_m^{'}$ – давление парогазовой смеси в пузырьке при $R=R_{min}$; ρ – плотность жидкости, кг/м^3. Величину $P_m^{'}$ можно определить, приравняв работу внешних сил в стадии захлопывания к работе, производимой сжатым газом.

Работа внешних сил определяется выражением:

$$A_c = \int_{R_{\max}}^{R_{\min}} P_g^{'} 4\pi R^2 dR \,, \tag{3}$$

где $P_g^{'}$ – давление, действующее на стенку пузырька в фазе сжатия.

Величина $P_g^{'}$ меняется в процессе сжатия, поэтому для приближенного расчета мы введем понятие эффективного давления $P_{эфф}$ сжатия, которое можно приравнять постоянным и вынести за знак интеграла. После интегрирования, учитывая, что $R_{max} \geq R_{min}$, получаем:

$$A_g = \frac{4}{3}\pi P_{эфф} R_{\max}^3 \,. \tag{4}$$

Величина $P_{эфф}$ определяется из выражения:

$$P_{эфф} = P_O + \overline{P}_A \,, \tag{5}$$

где $\overline{P}_A$ – среднее значение давления, действующее на пузырек в фазе сжатия.

Величина $\overline{P}_A$ определяется из выражения:

$$\overline{P}_A = \frac{1}{\Delta t}\int_{t_{\max}}^{t_{\max}+\Delta t} P_A \sin \omega t dt \,, \tag{6}$$

где ω – циклическая частота, c^{-1}; t – время расширения полости пузырька, c; t_{max} – время, соответствующее $R=R_{max}$, с; Δt – разность времени расширения и сжатия полости пузырька, c [6, 7].

После интегрирования получаем:

$$\overline{P}_A = P_A \frac{\cos\omega(t_{\max}+\Delta t) - \cos\omega t_{\max}}{\omega\Delta t} \,, \tag{7}$$

Заменяя выражение $\frac{\cos\omega(t_{\max}+\Delta t) - \cos\omega t_{\max}}{\omega\Delta t}$ через α, подставляя значение в выражение (4) и приравнивая работу сжатого газа к работе внешних сил, получаем:

$$P_m^{'} = \frac{1}{3}(P_O + \alpha P_A)\frac{R_{\max}^3}{R_{\min}^3} \,. \tag{8}$$

Величину Δt можно определить по формуле $P_{элея}$, приняв, как уже говорилось выше, действующее на стенку пузырька давление постоянным и равным:

$$\Delta t = 0{,}9 R_{\max}\sqrt{\frac{\rho}{\alpha P_A + P_O}} \,. \tag{9}$$

Подставив выражение (8) в уравнение (2) и решая совместно уравнения (2) и (9) получаем:

$$\tau_o = K\Delta t\left(\frac{R_{\min}}{R_{\max}}\right)^{2,5} \,. \tag{10}$$

Если значение R_{max} и Δt можно определить при численном решении уравнения динамики кавитационной полости, то для получения расчетных значений R_{min} для стадии захлопывания следует считать, что пар в пузырьке не успевает сконденсироваться и ведет себя как идеальный газ в течение всего периода сжатия пузырька. Механизм воздействия энергии единичного кавитационного пузырька с определенной массой загрязнения можно изобразить в виде схемы (рис.) [4, 6].

При снижении давления в движущемся потоке жидкости до критического состояния образуется пузырек воздуха, который движется в потоке по его направлению к загрязненной поверхности со скоростью V_n (рис. а). Через определенный промежуток времени происходит возмущение верхней ча-

сти пузырька из-за наличия градиента давления вблизи его стенок, при этом происходит образование микроструек жидкости, вызванное деформацией пузырька (рис. б, в). Образующиеся микроструйки «прошивают» пузырек воздуха со скоростью V_k вблизи загрязнения, схлопывая тем самым пузырек и разрушая поверхность загрязнения (рис. г). При соударении струйки с частицей загрязнений, возникающее давление должно преодолевать не только локальную прочность частицы, но и ее силы инерции [7-9].

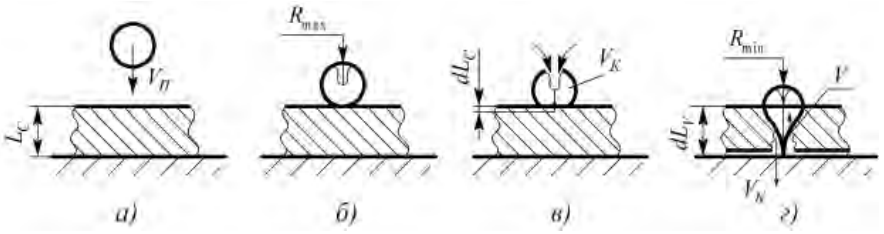


Рис. Механизм воздействия единичного кавитационного пузырька на поверхность: а) – начальное состояние единичного пузырька; б) – начальное возмущение единичного пузырька; в) – начало образования ударной волны, направленной к очищаемой поверхности; г) – процесс взаимодействия единичного пузырька с загрязнением

При внедрении струйки в частицу загрязнения, давление на контактной поверхности составит в случае жесткого удара следующую зависимость:

$$P = \frac{1}{2}\rho(V_{об} - V)^2, \quad (11)$$

где P – давление на контактной поверхности, МПа; ρ – плотность жидкости в кумулятивной струйке, кг/м$_3$; $V_{об}$ – суммарная скорость взаимодействия кавитационной энергии с загрязнением, м/с; V – скорость контактной поверхности, возникающая за счет разрушения и движения частицы загрязнения по объекту очистки, м/с.

Принимая предположение, что частица при ударе начинает течь, из уравнения Бернулли получаем:

$$P = \frac{1}{2}\rho_з V^2 + P_з, \quad (12)$$

где ρ_3 – плотность частицы загрязнения, кг/м^3; $P_з$ – предел прочности загрязнения, МПа.

Приравняв выражения (11) и (12) и проведя преобразования, получаем выражение для определения скорости контактной поверхности:

$$\frac{1}{2}\rho(V_{об} - V)^2 = \frac{1}{2}\rho_з V^2 + P_з; V = \frac{1}{1-\varphi_1}\left(V_{об} - \varphi_1\sqrt{V_{об}^2 + \varphi_2}\right), \quad (13)$$

где φ_1 и φ_2 – коэффициенты, зависящие от плотности жидкости и загрязнения.

Если представить кумулятивную струйку в виде жидкого клина, то за тот же промежуток dt размер струйки в результате контакта с поверхностью частицы увеличивается на величину:

$$dL_C = V_{об}dt. \quad (14)$$

Кумулятивная струйка, прошивая пузырек, изменит свою форму от 2 R_{max} до 2 R_{min}, то есть до наименьшего радиуса. Тогда малый промежуток времени будет равен:

$$dt = \frac{dL_{ГЛ}}{V} = \frac{dL_C}{V_{об}}. \quad (15)$$

Отсюда получим:

$$L_{ГЛ} = \int_{2R_{\min}}^{2R_{\max}} \frac{V}{V_{об}} dL_C. \quad (16)$$

Интегрирование выражения (16) позволяет определить глубину проникновения струйки в частицу при условии жесткого упругого удара для случая, когда пузырек касается частицы загрязнения. При этом соударение происходит по длине струйки, равной начальному диаметру пузырька, то есть

$L_C = 2R_O \cdot \left(R_O = 3{,}2 \cdot 10^{-6}\right).$

При полном схлопывании пузырька наименьшим его радиусом, необходимо считать радиус образующейся струйки ($2R_{min}$). Подставляя в выражение (16) выражение (13) и сделав соответствующие преобразования, получаем глубину проникновения струйки пузырька в загрязнение [4, 10]:

$$L_{ГЛ} = \int_{2R_{\min}}^{2R_{\max}} \frac{2}{1-\varphi_1^2}\left(1-\varphi_1\sqrt{1+\frac{\varphi_2}{V_{об}^2}}\right)dR. \quad (17)$$

Из выражения (17) видно, что использование явления кавитационного взрыва пузырька возможно, и оно зависит от радиусов кавитационного пузырька (R_{max} *и* R_{min}).

Выводы. Разрушение нагароотложений при работе двигателя на водотопливной эмульсии происходит за счет явления кавитационного взрыва пузырька (микроудара) капель эмульгированного топлива, скорость испарения которых зависит от их диаметра, давления и амплитуды газовой среды. Таким образом, использование вышеописанной теоретической оценки механизма микроударного воздействия воды на нагар позволяет сформировать требования к разработке методики безразборной очистки двигателей от нагароотложений.

Библиографический список

1. Катаев Ю.В. Теоретические предпосылки безразборного способа очистки двигателя от нагароотложений // Инновации молодых ученых агропромышленному комплексу: сб. научн. трудов. М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2011. С. 60-63.

2. Катаев Ю.В. Подача воды в камеру сгорания двигателя // Сельский механизатор. 2015. N3. С. 32-33.

3. Кувшинов Г.И., Прохоренко П.П. Акустическая кавитация у твердых поверхностей. Мн.: Наука и техника. 1980. 112 с.

4. Антонов В.Е., Куделин О.Г., Лебедев О.Н. Математическая модель процесса испарения капли водотопливной эмульсии // Дизельные энергетические установки речных судов. Новосибирск: Новосибирский институт инженеров водного транспорта. 1993. С. 133-142.

5. Катаев Ю.В., Корнеев В.М. Актуальность очистки деталей двигателя от нагароотложений // Международный технико-экономический журнал. 2010. N1. С. 63-65.

6. Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Кавитационное воздействие воды на нагароотложения в двигателях // Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. N9. С. 29-33.

7. Исаков А.Я., Деминов В.И. Физическая модель процессов, предшествующих воспламенению капель водотопливной эмульсии // Физика горения и взрыва. 1986. Т. 22. N6. С. 15-20.

8. Катаев Ю.В. Безразборная очистка двигателя от нагара // Сельский механизатор. 2011. N9. С. 34-35.

9. Дидманидзе О.Н., Корнеев В.М. Технический сервис в АПК. М.: Триада. 2015. 110 с.

10. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 720 с.

References

1. Kataev Yu.V. Theoretical prerequisites for an in-place method of cleaning the engine from soot. Innovations of young scientists to the agro-industrial complex: Sat. scientific works. Moscow: Moscow state agroengineering university of V.P. Goryachkin. 2011. 60-63.

2. Kataev Yu.V. Water supply to the engine combustion chamber. Rural mechanicizer. 2015. N3. 32-33.

3. Kuvshinov G.I., Prokhorenko P.P. Acoustic cavitation on hard surfaces. Minsk: Science and Technology. 1980. 112.

4. Antonov V.E., Kudelin O.G., Lebedev O.N. Mathematical model of the process of evaporation of a drop of water-fuel emulsion. Diesel power plants of river vessels. Novosibirsk: Scientific-Research Institute of Injection Technology. 1993. 133-142.

5. Kataev Yu.V., Korneev V.M. The relevance of cleaning engine parts from soot. International Technical and Economic Journal. 2010. N1. 63-65.

6. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Cavitational effect of water on soot deposits in engines. Repair, restoration, modernization. 2014. N9. 29-33.

7. Isakov A.Ya., Deminov V.I. Physical model of the processes preceding the ignition of water-fuel emulsion droplets. Physics of Combustion and Explosion. 1986. Vol. 22. N6. 15-20.

8. Kataev Yu.V. In-place cleaning of the engine from carbon. Rural mechanicizer. 2011. N9. 34-35.

9. Didmanidze O.N., Korneev V.M. Technical service in agriculture. Moscow: Triada. 2015. 110.

10. Kavtaradze R.Z. Theory of piston engines. Special chapters. Moscow: MSTU publishing house of N.E. Bauman. 2008. 720.

УДК 658.562.012.7

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ И АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Александр Андреевич Пчелкин, преподаватель-исследователь,
e-mail: pchelkin.alex@gmail.com
Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Для определения и контроля надежности в процессе эксплуатации необходимы современные количественные и статистические методы исследования надежности, так как в процессе эксплуатации, совершенствование сельскохозяйственной техники и методов ее обслуживания невозможно без систематического анализа изменения состояния техники. (Цель исследования) Найти принципиально новые методы контроля качества и обеспечения надежности сельскохозяйственной техники, учитывающие специфику конструкции и назначения. (Материалы и методы) Проверили надежность агротехники с помощью построения моделей, принципов и критериев исследования на основе принципов статистической проверки гипотез и интегральной оценки. Применили аналитические и статистические методы для вычисления показателей надежности и их средних квадратических отклонений. Установили, что система, надежная в одних условиях и при решении одних задач, может быть надежной и в других условиях при решении новых задач. Следовательно, надежность техники необходимо оценивать не по внутренним свойствам (надежности функциональной системы), а по вероятности выполнения конкретных задач, то есть по эффекту функционирования. (Результаты и обсуждение) Выявили, что обеспечить абсолютные точность и достоверность контроля практически невозможно, поэтому при разработке математических моделей и методов необходимо определить рациональные требования к точности и достоверности принимаемых решений. Нет практической необходимости применять математические модели и методы контроля надежности если информация, используемая для контроля, имеет низкую точность. (Выводы) Надежность эксплуатации в основном определяется надежностью эксплуатационно-технической документации и качеством организации работы специалистов в соответствии с этой документацией. Затраты на устранение выявленных отказов и неисправностей на стадии эксплуатации на два порядка выше, чем на стадии проектирования. Основные модели показателей надежности –параметрическая, структурная и факторная.*

Ключевые слова: *надежность, качество, статистика, метод, модель, ремонт, техника.*

Для цитирования: *Пчелкин А.А. Контроль качества сельскохозяйственной техники при помощи моделей статистической проверки и анализа количественных показателей надежности // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 75-80.*

QUALITY CONTROL OF AGRICULTURAL MACHINERY USING MODELS FOR STATISTICAL VERIFICATION AND ANALYSIS OF QUANTITATIVE INDICATORS OF RELIABILITY

Alexander A. Pchelkin, teacher-researcher, e-mail: pchelkin.alex@gmail.com
The Russian state agricultural university – MSHA of K.A. Timiryazev,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *Introduction (relevance). To determine and control the reliability in the course of operation, modern quantitative and statistical methods of researching reliability are necessary, since in the course of operation, the improvement of agricultural equipment and methods of its maintenance is impossible without a systematic analysis of changes in the state of technology. (Purpose of research) Find fundamentally new methods of quality control and reliability of agricultural machinery, taking into account the specifics of the design and purpose. (Materials and methods) We tested the reliability of agricultural machinery by building models, principles and criteria of research based on the principles of statistical hypothesis testing and integrated assessment. Analytical and statistical methods were used to calculate reliability indices and their mean square deviations. It was established that the system, reliable in some conditions and in solving some problems, can be reliable in other conditions in solving new problems. Consequently, the reliability of technology must be assessed not by its internal properties (reliability of the functional system), but by the probability of performing specific tasks, that is, by the effect of functioning. (Results and discussion) It was found that it is almost impossible to ensure absolute accuracy and reliability of control, therefore, in the development of mathematical models and methods it is necessary to determine the rational requirements for the accuracy and reliability of decisions. There is no practical need to apply mathematical models and methods of reliability control if the information used for the control has low accuracy. (Conclusions) Reliability of operation is mainly determined by the reliability of operational and technical documentation and the quality of the organization of work of specialists in accordance with this documentation. Costs for elimination of the revealed failures and malfunctions at the stage of operation are two orders of magnitude higher than at the design stage. The main models of reliability indicators are parametric, structural and factor.*

Keywords: *reliability, quality, statistics, method, repair, model, technique.*

For citation: *Pchelkin A.A. Quality control of agricultural machinery using models for statistical verification and analysis of quantitative indicators of reliability. Technical service of machines. 2019. N2 (135). 75-80.*

Введение. Совершенствование сельскохозяйственной техники и методов ее обслуживания в настоящее время невозможно без систематического анализа изменения состояния техники в процессе эксплуатации. Такой анализ выполняет роль обратной связи, позволяющей оценить эффективность проводимых мероприятий для систематического повышения надежности. Определение и контроль надежности в процессе эксплуатации – одна из основных задач технического обслуживания и ремонта. Для успешного решения этой задачи необходимы современные количественные и статистические методы исследования надежности, практическое применение которых обеспечивает уточнение оптимальной по критерию надежности структуры; разра-

ботку наиболее эффективной стратегии совершенствования находящихся в эксплуатации машин; составление наиболее эффективной программы обеспечения требуемой надежности в течение эксплуатации; разработку и обоснование необходимости проведения доработок и ремонтно-восстановительных работ с целью повышения надежности; разработку технических требований к надежности создаваемых и модернизируемых с заданным уровнем надежности [1].

Цель исследования – найти принципиально новые методы контроля качества и обеспечения надежности сельскохозяйственной техники, учитывающие специфику конструкции и назначения.

Материалы и методы. Основными характеристиками сельхозтехники стали количественные показатели, определяющие выполнение заданных функций (производительность, себестоимость, рентабельность, качество, быстродействие, КПД и т.д.). Заданные функции при этом устанавливаются целевым назначением техники.

Необходимы принципиально новые методы определения, контроля и обеспечения надежности сельхозмашин, учитывающие специфику структуры и назначения. При определении надежности важна обобщающая оценка качества функционирования [2]. Критерием надежности служит некоторая мера, количественно выражающая степень объективной возможности выполнения им заданных функций в реальных условиях эксплуатации. Во многих случаях достаточной количественной мерой надежности является вероятность выполнения поставленных задач, то есть вероятность получения некоторого полезного эффекта.

Для применения статистических методов оценки вероятности безотказной работы необходимо собрать соответствующие данные, которые зависят от решаемой задачи. Сведения, используемые для анализа безотказности, должны представлять собой информацию об эффективности работы элементов, которые могут отказать (например, в условиях эксплуатации). Тип данных зависит от типа исследуемого элемента. Например, основными показателями для устройств краткого действия стали количество испытуемых элементов и количество не отказавших элементов. Основными данными для невосстанавливаемых элементов являются наработки до опасных событий (для системы). Основные показатели для восстанавливаемых элементов – наработки в процессе срока службы элемента. Обычно не все элементы отказывают за период наблюдений. Поэтому наработку до отказа фиксируют только для отказавших элементов, а продолжительность наблюдений – для не отказавших элементов. Такие данные называют цензурированными. Их обработка достаточно сложна и зависит от целей исследования надежности и особенностей элемента [3].

Выполнение требований к надежности проверяют с помощью построения моделей, принципов и критериев проверки, а в основе решения таких задач должны быть принципы и модели статистической проверки гипотез и интегральной оценки [4].

Для вычисления показателей надежности и их средних квадратических отклонений применяют аналитические и статистические методы. Для оценки условий эксплуатации машин, рассмотрим их потенциальную и реальную надежность. Потенциальная надежность – это надежность, которая может быть достигнута при идеальной системе эксплуатации, обеспечивающей строгое соблюдение правил эксплуатации, своевременное обнаруже-

ние и устранение появляющихся в процессе эксплуатации отказов функциональных систем. Реальная надежность – это надежность достижения цели в реальных условиях эксплуатации при реальном обслуживающем персонале и реальной организации их функционирования. На всех стадиях формирования надежности (жизненного цикла) главными факторами его обеспечения становятся техника, люди и организация [5]. Надежность человеческого фактора в условиях эксплуатации обеспечивается квалификацией операторов, строгим соблюдением режимов и правил эксплуатации, установленных документацией.

В общем случае эффект функционирования – это размерная величина, но ее можно представить в безразмерном виде, пронумеровав размерную величину относительно максимального полезного эффекта. Обобщенный показатель надежности в этом случае можно представить как вероятность получения полезного эффектах в некоторых пределах, то есть надежность сельскохозяйственной техники зависит от условий, в которых она функционирует. Так, система, надежная в одних условиях и при решении одних задач, может быть надежной в других условиях при решении новых задач. Следовательно, надежность техники необходимо оценивать не по внутренним свойствам (надежности функциональной системы), а по вероятности выполнения конкретных задач (эффекту функционирования).

Результаты и обсуждение. Контроль надежности сельскохозяйственной техники необходим на различных стадиях проектирования и конструкторской отработки функциональных систем, их изготовления и монтажа, испытаний, приемки и ввода в эксплуатацию. Общие требования, предъявляемые к методам контроля надежности сельскохозяйственной техники и его функциональных систем, – точность, достоверность и экономичность.

От точности и достоверности контроля зависит качество принимаемых решений о соответствии фактического уровня надежности установленным требованиям, а также о мероприятиях по ее повышению. Чтобы обеспечить высокую точность и достоверность контроля надежности необходимо создать систему контроля, включающую множество взаимосвязанных математических моделей, методов и средств контроля. Разные ошибки, допущенные на ранних стадиях разработки, могут быть устранены на последующих стадиях: ошибки контроля на стадии ввода в эксплуатацию могут быть обнаружены только в процессе эксплуатации техники и могут привести к невыполнению задач по достижению целей функционирования или значительным дополнительным расходам ресурсов на достижение целей.

Обеспечить абсолютные точность и достоверность контроля практически невозможно, поэтому при разработке математических моделей и методов необходимо определить рациональные требования к точности и достоверности принимаемых решений. Этот вопрос на практике решают на основе интуиции и опыта с учетом реальных возможностей проведения экспериментов с целью подтверждения заданного уровня показателей надежности. Весьма важное требование к точности и достоверности методов контроля надежности – осуществлялся экономичность. Контроль надежности всегда связан с расходом трудовых материальных и денежных ресурсов, поэтому следует разработать методы, обеспечивающие достижение заданного уровня точности и достоверности контроля при минимальных затратах ресурсов. При этом затраты на проведение контроля не должны превышать возможные потери, вызванные недостаточными точностью и достоверно-

стью контроля. Кроме требований точности, достоверности и экономичности, весьма важно требование простоты [6]. Нет практической необходимости применять математические модели и методы контроля надежности, если информация, используемая для контроля, имеет низкую точность.

Выводы . Анализ показывает, что надежность эксплуатации в основном определяется надежностью эксплуатационно-технической документации и качеством организации работы специалистов в соответствии с этой документацией Надежность эксплуатации входит во все остальные составляющие надежности техники и в то же время имеет самостоятельное значение.

Практика требует, чтобы контроль за надежностью осуществлялся не только на стадии эксплуатации [7]. Затраты на устранение выявленных отказов и неисправностей на стадии эксплуатации на два порядка выше, чем на стадии проектирования, и на порядок выше, чем на стадии изготовления функциональной системы [8, 9]. Но дело не только в экономике: отказы основных функциональных систем в процессе эксплуатации приводят к невыполнению стоящих задач, а в ряде случаев и к нарушению безопасности [10].

Наиболее важный и достаточно сложный вопрос теории и практики исследования надежности – вопрос о конкретных формах, рекомендуемых для практики моделей показателей надежности. Основными моделями показателей надежности, как показывает опыт, являются модели параметрической, структурной и факторной надежности.

Библиографический список

1. Пчелкин А.А. Повышение эффективности и качества ремонта машин на основе статистических методов с использованием экономических показателей и построения математической модели // Вклад молодых ученых в аграрную науку. Самарская государственная сельскохозяйственная академия. 2017. С. 280-282.

2. Леонов О.А., Бондарева Г.И., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Динамика затрат на качество ремонтных предприятий // Символ науки. 2015. N12-1. С. 62-64.

3. ГОСТ Р 51901.5- 2005. Руководство по применению методов анализа надежности. 2005. 46 с.

4. Пчелкин А.А. Методы оценки уровня качества ремонта машин на примере статистического приемочного контроля на предприятиях технического сервиса АПК // Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России. В 8 т. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет. 2017. С. 85-88.

5. Бондарева Г.И. Составляющие качества ремонта // Сельский механизатор. 2016. N7. С. 2-4.

6. Леонов О.А., Бондарева Г.И., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Качество сельскохозяйственной техники и контроль при ее производстве и ремонте // Тракторы и сельхозмашины. 2016. N3. С.30-32.

7. Пчелкин А.А. Статистическое управление измерительными и контрольными процессами в сфере ремонтного обслуживания сельхозтехники // Международный технико-экономический журнал. 2018. N3. С. 65-71.

8. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Антонова У.Ю. Метрологическое обеспечение контроля гильз цилиндров при ремонте дизелей // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: Технические науки. 2018. N6. С. 104-109.

9. Пчелкин А.А. Роль статистических методов в улучшении качества измерительных и контрольных процессов // Наука молодых – агропромышленному комплексу. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. 2016. С. 180-181.

10. Пчелкин А.А. Статистическая оценка показателей сельхозтехники применительно к техническому обслуживанию // Вклад молодых ученых в аграрную науку. Самарская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. С. 319-321.

References

1. Pchelkin A.A. Improving the efficiency and quality of repairing machines based on statistical methods using economic indicators and building a mathematical model. The contribution of young scientists to the agrarian science. Samara State Agricultural Academy. 2017. 280-282.

2. Leonov O.A., Bondareva G.I., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G. Dynamics of costs for the quality of repair enterprises // Science Symbol. 2015. N12-1. 62-64.

3. GOST R 51901.5- 2005 Guide for the application of methods for analyzing the reliability of PP. 2005. 46.

4. Pchelkin A.A. Methods for assessing the level of quality of repair of machines on the example of statistical acceptance control at the enterprises of the technical service of the agro-industrial complex // Problems and Prospects for the Development of the Agricultural Sector of Russia. In 8 tons. Blagoveshchensk: Publishing House of the Far Eastern State Agrarian University. 2017. 85-88.

5. Bondareva G.I. Components of quality repair. Rural mechanic. 2016. N7. 2-4.

6. Leonov O.A., Bondareva G.I., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G. The quality of agricultural machinery and control during its production and repair. Tractors and agricultural machines. 2016. N3. 30-32.

7. Pchelkin A.A. Statistical management of measurement and control processes in the field of agricultural machinery maintenance services. International Technical and Economic Journal. 2018. N3. 65-71.

8. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G., Antonova U.Y. Metrological assurance of control of cylinder liners in the repair of diesel engines. Bulletin of Baranovichi State University. Series: Engineering. 2018. N6. 104-109.

9. Pchelkin A.A. The role of statistical methods in improving the quality of measurement and control processes. Science of the Young to the Agro-Industrial Complex. Moscow: Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy. 2016. 180-181.

10. Pchelkin A.A. Statistical evaluation of agricultural equipment indicators in relation to maintenance. The contribution of young scientists to the agricultural science. Samara state agricultural Academy. 2018. 319-321.

УДК 633.1: 632.727: 632.9

СПОСОБ МЕХАНИЧЕСКОГО УНИЧТОЖЕНИЯ САРАНЧИ

Виктор Всеволодович Очинский, доктор физико-математических наук, профессор;
Анатолий Тимофеевич Лебедев, доктор технических наук, профессор, e-mail: lebedev.1962@mail.ru;
Роман Владимирович Павлюк, кандидат технических наук, доцент;
Елена Васильевна Зубенко, кандидат технических наук, доцент кафедры
Антон Викторович Захарин, кандидат технических наук, доцент;
Павел Анатольевич Лебедев, кандидат технических наук, доцент;
Николай Александрович Марьин, кандидат технических наук, доцент
Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Реферат. *Ежегодно на Юге России происходит нашествие саранчевых вредителей. Способ для уничтожения саранчи на земле в местах скоплений, состоящий в распылении ядохимикатов с самолета довольно эффективный, но экологически опасный. (Цель исследования) Совершенствование методов борьбы с саранчовыми вредителями путем их механического уничтожения до постановки на крыло. (Материалы и методы) Предложили способ механического уничтожения, суть которого состоит в «расстреле» масс саранчи «картечью». Использовали в качестве поражающих элементов просеянный и промытый кварцевый песок, обладающий достаточной кинетической энергией, источником которой является поток сжатого воздуха. (Результаты и обсуждение) Выявили, что энергия одной кварцевой песчинки с размерами примерно 1,5×1,5×1,5 миллиметров при удельном весе кварца 2,6 граммов на сантиметр кубический и скорости движения примерно 650 километров в час (180 метров в секунду) составит примерно 0,14 джоуля. Определили, что этого достаточно даже для поражения одной взрослой особи саранчи массой 20-25 грамм, не говоря уже о подрастающей молоди. Сконструировали устройство для осуществления уничтожения саранчи, которое закрепили на транспортном средстве повышенной проходимости с платформой. Установили, что обработку необходимо проводить с местах высокой концентрации саранчи до ее «постановки на крыло». При включении пескоструйного аппарата и песку под действием сжатого воздуха придается начальная скорость истечения из сопла с заданной скоростью. (Выводы) Предлагаемое изобретение повышает мобильность технических средств уничтожения саранчи, дает возможность «точечного» уничтожения ее гнездовий, сокращает затраты. Оно наиболее экологично среди всех известных способов борьбы с этим вредителем.*

Ключевые слова: *саранча, механическое уничтожение, пескоструйный аппарат, скорость движения частиц.*

Для цитирования: *Очинский В.В., Лубедев А.Т., Павлюк Р.В., Зубенко Е.В., Захарин А.В., Лебедев П.А., Марьин Н.А. Способ механического уничтожения саранчи // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 81-86.*

WAY OF MECHANICAL DESTRUCTION OF THE LOCUST

Victor V. Ochinsky, Dr. Phys.and Math.(Eng.), professor;
Anatoly T. Lebedev, Dr.Sc(Eng.), professor, e-mail: lebedev.1962@mail.ru;
Roman V. Pavlyuk, Ph.D.(Eng.), associate professor;
Elena V. Zubenko, Ph.D.(Eng.), associate professor;
Anton V.Zakharin,Ph.D.(Eng.), associate professor;
Pavel A. Lebedev, Ph.D.(Eng.), associate professor;
Nikolay A. Maryin, Ph.D.(Eng.), associate professor
Stavropol state agricultural university, Stavropol, Russian Federation

Abstract. *Every year a locust pest invasion occurs in the south of Russia. A method for the destruction of locusts on the ground, in places of clusters, which consists in spraying toxic chemicals from an airplane, is quite effective, but ecologically dangerous. (Research purpose) Improving methods of locust pest control by their mechanical destruction prior to fielding. (Materials and methods) Offered a way of mechanical destruction which essence consists in "execution" of mass of a locust "case-shot". Sifted and washed quartz sand with sufficient kinetic energy, the source of which is a stream of compressed air, is used as damaging elements. (Results and discussion) The energies of one quartz sand with dimensions of approximately 1.5 mm 1.5 mm×1.5 mm, with a specific weight of quartz 2.6 g / cm3 and a speed of approximately 650 km / h (180 m/s) will be approximately 0.14 J. This is more than enough even to kill one adult locust individual weighing 20-25 g, not to mention the young fry. Designed the device for implementation of destruction of a locust, which was fixed on the vehicle of the increased passability with the platform. Established that processing needs to be carried out with places of high concentration of a locust to it "statement on a wing". At turning on of the sanding device and to sand under the influence of compressed air the initial speed of the expiration from a nozzle with assigned speed is given. (Conclusions) The proposed invention increases the mobility of locust destruction equipment, enables the "point-like" destruction of its nests, reduces costs and is the most environmentally friendly among all known ways to combat this pest.*

Keywords: *a locust, mechanical destruction, sand blasting apparatus, particle speed.*

For citation: *Achinsk V.V., Lubedev A.T., Pavlyuk R.V., Zubenko E.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Maryin N.A. Way of mechanical destruction of the locust. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 81-86.*

Введение. Ежегодно на Юге России происходит нашествие саранчевых вредителей. Так, на Ставрополье в 2017 г. саранча распространилась на территорию 16 районов, заняв более 355 га.

Насекомые не только активно уничтожают посевы, но и создают препятствия движению транспорта [1]. Дорожное покрытие полностью покрывается саранчой и машины теряют сцепление с асфальтом. В трех районах Ставропольского края был введен режим ЧС: там плотность насекомых в

18-20 раз превышает порог экономической вредоносности. Специалисты ищут способы эффективной борьбы с нашествием вредителей.

На Ставрополье было выделено более 50 млн руб. на уничтожение данного вредителя посредством инсектицидов, но все же большая часть посевов была погублена. Способ для уничтожения саранчи на земле в местах скоплений, состоящий в распылении ядохимикатов с самолета, довольно эффективный, но экологически опасный.

Наряду с саранчой погибают пасеки, отравляются дикие и домашние животные. Почва на долгое время остается зараженной, многие растения гибнут или замедляют свое развитие. Так же велики затраты хозяйств на ядохимикаты. Существенную роль в этом неизбирательном процессе играет и погода, например дождь или ветер.

Применение одних лишь ядохимикатов не дает ожидаемого результата. Для борьбы с этими вредителями необходимо комплексное воздействие, включающее, кроме химии, и механическое уничтожение, и профилактику дальнейшего размножения, и биологические методы.

Цель исследования – совершенствование методов борьбы с саранчовыми вредителями путем их механического уничтожения до постановки на крыло.

Материалы и методы. Механическое уничтожение агротехническими способами борьбы, включающими культивацию, боронование и лущение, позволяет избавиться лишь от части взрослых особей, что почти бесполезно во время массового нашествия вредителей [2].

Саранча откладывает яйца в сырую почву в августе-сентябре в виде кубышки капсулы из затвердевших пенистых выделений, окружающих порцию яиц, за пределами сельхозугодий [3-5]. Количество кубышек на 1 м^2 порой превышает 2000 шт.

Яйца обычно зимуют, а весной из них выходят личинки, внешне похожие на взрослых, но мельче и без крыльев. Отрождение происходит в мае – начале июня. Личинки пять раз линяют и после завершающей линьки у них появляются крылья. Это быстрый процесс, происходящий в течение 4-5 дней на каждой стадии. От появления личинок до становления саранчи «на крыло» проходит около 40 дней – время, которое позволяет с помощью современных средств обнаружения определить места ее дислокации (гнездовья) и подготовиться к ее уничтожению непосредственно до начала перелетов на новые источники питания. Количество особей саранчи в местах гнездовий может достигать многих миллионов (до миллиарда), эта рать поднимается в воздух и при попутном ветре за световой день может преодолевать 100-150 км, атакуя культурные посевы. Тогда уничтожение саранчи будет эквивалентно уничтожению урожая. Поэтому лучшим способом ликвидации саранчи будет ее уничтожение на земле, пока она еще не встала «на крыло» [5, 6].

Способ механического уничтожения состоит в «расстреле» масс саранчи «картечью». В качестве поражающих элементов используется просеянный и промытый кварцевый песок, обладающий достаточной кинетической энергией, источником которой служит поток сжатого воздуха [7, 8].

Результаты и обсуждение. Энергии одной кварцевой песчинки с размерами примерно 1,5 ×1,5 ×1,5 мм, при удельном весе кварца 2,6 г/см^3 и скорости движения примерно 650 км/ч (180 м/с) составит примерно 0,14 Дж. Этого более чем достаточно даже для поражения одной взрослой особи саранчи массой 20-25 г, не говоря уже о подрастающей молоди [9].

Для сравнения: энергия пули, выпущенной из современного духового ружья, составляет примерно 5Дж (примерно в 36 превышает энергию одной песчинки), способна серьезно травмировать человека массой более чем в 3000 раз превышающей массу одной особи саранчи. Если учесть, что 1 кг кварцевого песка содержит порядка 10-12 тыс. песчинок, то для уничтожения одного миллиона особей саранчи потребуется около 100 кг подготовленного песка.

Устройство для осуществления способа уничтожения саранчи (рис. 1) включает транспортное средство 1 повышенной проходимости с платформой 2 и пескоструйный аппарат 3, при этом пескоструйный аппарат 3 и стойка 4 закреплены на платформе 2, причем наконечник 5 с соплом 6 соединен шлангом 7 с пескоструйным аппаратом 3 и закреплен на стойке 2 с возможностью ограниченного изменения его направления с помощью шарового шарнира 8 [10]. Здесь же располагается оператор пескоструйного аппарата, может находиться компрессор и запас песка.

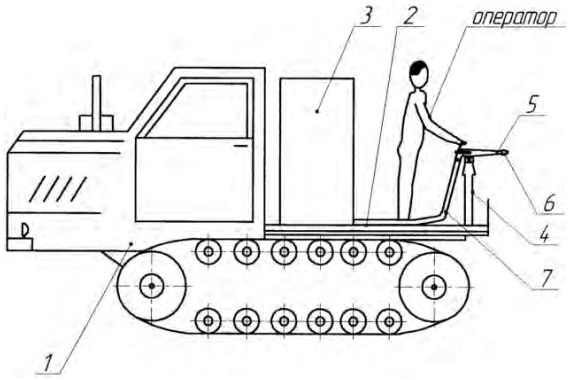


Рис. 1. Устройство для осуществления способа уничтожения саранчи
Fig. 1. Device for implementing the method of locust destruction

После воздушной разведки с помощью беспилотных летательных аппаратов и определения мест обитания подрастающей саранчи и оценки их количества на место выдвигаются транспортные средства, оборудованные устройством для уничтожения саранчи. Расчеты показывают, что при диаметре сопла порядка 30 мм с КПД 0,1 и начальной скорости движения частиц примерно 150 м/с без учета времени на перемещение устройства потребуется не более 10 мин. для уничтожения одного миллиона особей саранчи, так как плотность кулиг саранчи может достигать 80000 личинок/м^2 для первого возраста и 7000 личинок/м^2 для пятого возраста.

В устройство для осуществления уничтожения саранчи непосредственно в пескоструйный аппарат 3 засыпают промытый и откалиброванный кварцевый песок размером 1-1,5 мм, далее транспортное средство 1 повышенной проходимости с платформой 2 приезжает к месту высокой концентрации саранчи до «постановки на крыло». Затем наконечник 5 пескоструйного аппарата 3, закрепленный на платформе 2 с помощью шарового шарнира 8, направляется на скопление саранчи, включается пескоструйный аппарат и песку под действием сжатого воздуха придается начальная скорость истечения из сопла с заданной скоростью, при которой кинетической энергии каждой песчинки оказалось достаточной (0,1-0,15 Дж) для поражения саранчи. При этом наконечник 5 с соплом 6 могут менять направление для

повышения эффективности поражения. При этом транспортное средство с работающим пескоструйным аппаратом может передвигаться по местности, где обитает саранча, обрабатывая поверхность до полного уничтожения. Кварцевый песок является природным материалом, его оседание на почве после обработки не нанесет вреда почвенному покрову, а вследствие механических агротехнических воздействий перемешается с ним.

Выводы. Предлагаемое изобретение повышает мобильность технических средств уничтожения саранчи, дает возможность «точечного» уничтожения ее гнездовий, сокращает затраты и является наиболее экологичным среди всех известных способов борьбы с этим вредителем.

Библиографический список

1. Бей-Биенко Г.Я., Мищенко Л.Л. Саранчевые фауны СССР. Ч. 1. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР. 1951. 40 с.

2. Камбулин В.Е. Азиатская саранча вчера, сегодня, завтра // Защита растений. 2017. N1. С. 11-13.

3. Стамо П.М. Мароккская саранча снова на Ставрополье // Защита растений. 2013. N2. С. 14-20.

4. Захваткин Ю.А. Курс общей энтомологии. М.: Колос. 2001. 376 с.

5. Магомедов И.И. Саранчу необходимо уничтожать вовремя // Защита растений. 2008. N11. С. 24-25.

6. Сочинский В.В., Завхарин А.В., Павлюк Р.В., Глебова Е.Н., Казакова А.Д. Методы борьбы с саранчой и оценка эффективности // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. научых трудов. Ставрополь: ставропольский государственный аграрный университет. 2018. С. 187-191.

7. Lebedev A.T., Pavlyuk R.V., Zaharin A.V., Lebedev P.A. Providing for quality grinding grain for the implementation of the biological potential of productive animals // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. Iss. 2. 1525-1528.

8. Лебедев А.Т., Очинский В.В., Бурым Ю.В., Каторгин И.Ю., Глебова Е.Н., Казакова А.Д. К построению биолого-географического метода определения мест отрождения саранчи (на примере Ставропольского края) // Естественные и технические науки. 2018. N5 (119). С. 119-125.

9. Очинский В.В., Лебедев А.Т., Павлюк Р.В., Захарян А.В., Лебедев П.А., Рыбалкин Н.А. Механический способ уничтожения саранчи кварцевыми элементами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. N3 (19). С. 44-50.

10. Патент РФ № 2626632, Способ механического уничтожения саранчи и устройство для его осуществления. Заявка № 2016137246/02. Заявлено 16.09.2016. Опубликовано 31.07.2017. Бюл. № 22. 8 с.

References

1. Bey-Bienko G.Ya., Mishchenko L.L. Locust fauna of the USSR. Part 1. Moscow-Leningrad: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR 1951. 40.

2. Kambulin V.Ye. Asiatic Locust yesterday, today, tomorrow. Plant protection. 2017. N1. 11-13.

3. Stamo P.M. Moroccan Locust again in Stavropol. Plant protection. 2013. N2. 14-20.

4. Zakhvatkin Yu.A. The course of general entomology. Moscow: Kolos. 2001. 376.

5. Magomedov I.I. Locust must be destroyed in time. Protection of plants. 2008. N11. 24-25.

6. Ochinsky V.V., Zavkharin A.V., Pavlyuk R.V., Glebova E.N., Kazakova A.D. Methods

of controlling locusts and assessment of efficiency. Actual problems of scientific and technological progress in the AIC: Sat scientific tr. Stavropol. 2018. 187-191.

7. Lebedev A.T., Pavlyuk R.V., Zaharin A.V., Lebedev P.A. Providing for quality grinding grain for the implementation of the biological potential of productive animals. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. Iss. 2. 1525-1528.

8. Lebedev A.T., Ochinsky V.V., Burim Yu.V., Katorgin I.Yu., Glebova E.N., Kazakova A.D. On the construction of a biological-geographical method for determining locust hatching sites (on the example of the Stavropol Territory). Natural and Technical Sciences. 2018. N5 (119). 119-125.

9. Ochinsky V.V., Lebedev A.T., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., Lebedev P.A., Rybalkin N.A. Mechanical method of locust destruction by quartz elements. Innovations in the AIC: problems and prospects. 2018. N3 (19). 44-50.

10. Patent Russian Federation № 2626632, Method of mechanical destruction of locusts and device for its implementation. Application № 2016137246/02. Declare 09/16/2016. Publ. 07/31/2017. Bull. № 22. 8.

УДК 630.36

ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНАЯ МАШИНА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ЛЕСНОЙ ЭКОЛОГИИ ПРИ НЕСПЛОШНЫХ РУБКАХ ЛЕСА

Владимир Иванович Славкин[1], доктор технических наук, профессор;
Мансур Магфурович Махмутов[1], доктор технических наук, профессор,
e-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru;
Юлдуз Рахимзяновна Хисматуллина[1], кандидат философских наук, доцент;
Алексей Сергеевич Апатенко[2], доктор технических наук, доцент, директор;
Марат Мансурович Махмутов[3], кандидат технических наук, доцент;
Рустем Фаритович Садриев[3], преподаватель,
e-mail: maratmax@yandex.ru;
[1]Российский государственный аграрный заочный университет, г. Балашиха, Российская Федерация;
[2]Институт природообустройства имени А.Н. Костякова, Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;
[3]Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Реферат. *Наиболее приближенно к лесоводственным требованиям при трелевке леса отвечают малогабаритные лесные машины, которые получили широкое распространение при выполнении рубок в европейских странах. (Цель исследования) Проанализировать состояние производства лесозаготовительных машин и наметить пути совершенствования машин для лесозаготовок, а также способов рубки главного пользования путем внедрения в производство несплошных рубок при минимальных нарушениях лесной среды и экологии леса. (Материалы и методы) Исследования проводили с использованием ГОСТов. Отметили необходимость ускоренного вовлечения в промышленную переработку неэффективно осваиваемых лесных ресурсов. Установили, что одна из основных задач развития лесных предприятий на территориях с истощенными сырьевыми базами – комплексное совершенствование использования леса с позиций производственно-экономической и лесоводственно-экологической эффективности. (Результаты и обсуждение) Определили, что с целью максимального сохранения компонентов леса при несплошных рубках перемещение лесозаготовительных машин осуществляется за счет бесконтактной трелевки по криволинейному маршруту. Дали описание машины и расчет полосы передвижения. Выявили, что использование предложенной лесозаготовительной машины обеспечит сохранение подроста, почвенного покрова и гумусового слоя за счет использования растущих деревьев в качестве промежуточных опор. (Выводы) Снижение рисков повреждения деревьев, оставляемых на доращивание, позволит в целом наметить тенденцию к улучшению лесных экосистем и рациональному использованию лесных ресурсов.*

Ключевые слова: *движитель, несплошная рубка, лесозаготовительная машина, почва, давление, воздействие, лесопользование, лесовосстановление.*

Для цитирования: *Славкин В.И., Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р., Апатенко А.С., Махмутов М.М., Садриев Р.Ф. Лесозаготовительная машина для сохранения лесной экологии при несплошных рубках леса // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 87-93.*

LOGGING MACHINE TO PRESERVE FOREST ECOLOGY AT SELECTIVE LOGGING IN FORESTS

Vladimir. I. Slavkin [1], Dr.Sc(Eng.), professor;
Mansur M. Makhmutov[1], Dr.Sc(Eng.), professor,
e-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru;
Yulduz R. Khismatullina[1], Ph.Phil.(Eng.), associate professor;
Aleksey S. Apatenko[2], Dr.Sc(Eng.), associate professor, director;
Marat M. Makhmutov[3], Ph.D.(Eng.), associate professor;
Rustem F. Sadriev[3], teacher
[1]Russian state agricultural correspondence university, Balashikha, Russian Federation;
[2]Institute of environmental engineering of A.N. Kostyakov, Russian state agricultural university;
– MSHA of K.A. Timiryazev, Moscow, the Russian Federation;
[3]Kazan state architectural and construction university, Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation

Abstract. *Approximately most of the above silvicultural requirements while skidding responsible small forest machines, which was widespread in the execution of fellings in European countries. (Purpose of research) To Analyse a condition of production of logging cars and to plan ways of improvement of cars for logging and also ways of the cabin of the main use of way of introduction to production of not continuous cabins at the minimum violations of the forest environment and ecology of the wood. (Materials and methods) Researches were conducted with use of state standard specifications. Noted need of the accelerated involvement in industrial processing of inefficiently mastered forest resources. Established that one of the main objectives of development of the forest enterprises in territories with the exhausted sources of raw materials – complex improvement of use of the wood from positions productive and economic and lesovodstvenno-environmental efficiency. (Results and discussion) Defined that for the purpose of the maximum preservation of components of the wood at not continuous cabins movement of logging cars is carried out due to contactless skidding along a curvilinear route. Distances description of the car and calculation of a strip of movement. Revealed that use of the offered logging car will provide preservation of subgrowth, a soil cover and humic layer due to use of the growing trees as intermediate support. (Conclusions) Reduction of risk of damage of the trees left on growing will allow to plan in general a tendency to improvement of forest ecosystems and rational use of forest resources.*

Keywords: *mover, logging machine, soil, pressure, impact, forest management, reforestation.*

For citation: *Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Khismatullina Yu.R., Apatenko A. S., Makhmutov M.M., Sadriyev R.F. Logging machine to preserve forest ecology at selective logging in forests. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 87-93.*

Введение. Одной из основных причин того, что Россия, обладающая колоссальными лесными ресурсами, не может экономически эффективно использовать их потенциал, стала отсталость отечественного лесного машиностроения (прежде всего машиностроения, производящего технику для лесосечных работ), не только проигравшего рынки сбыта зарубежным фирмам, но и не способного в ближайшие 3-5 лет выиграть конкуренцию на рынке поставок харвестеров и форвардеров. Отмечается резкое снижение на рынке поставок техники для лесозаготовок российского производства и соответственно существенный рост спроса на зарубежные харвестеры и форвардеры [4]. Анализ показал, что с 1990 по 2009 г. объемы производства тракторов и машин с тросочокерной оснасткой упало с 1840 до 153 шт., машин для бесчокерной трелевки леса и пакетоподборщиков – с 1255 до 6 шт., валочных и валочно-пакетирующих машин – с 879 до 10 шт. и бензиномоторных пил – с 543000 до 2000 шт. Для выхода на рынок техники для лесосечных работ отечественных машиностроительных предприятий и конкуренции с зарубежными фирмами российскому лесопромышленному комплексу необходимо решить задачи производства в России инновационной системы машин для лесозаготовок и дальнейшей переработки древесины.

Для современной российской экономики проблема развития российского лесного машиностроения, способного обеспечить рынок отечественной техникой для заготовки круглых лесоматериалов и вторичных отходов лесозаготовок, становится одной из приоритетных задач, которая особенно актуальна в области рационального лесопользования [2].

Цель исследования – проанализировать состояние производства лесозаготовительных машин и наметить пути совершенствования машин для лесозаготовок, а также способов рубки главного пользования путем внедрения в производство несплошных рубок при минимальных нарушениях лесной среды и экологии леса.

Материалы и методы. Исследования проводились согласно:

ГОСТу 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТу 22613-77 Система «человек – машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.

ГОСТу Р ИСО 8082-99 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты при опрокидывании. Требования безопасности и методы испытаний.

ГОСТу Р ИСО 8083-99 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты от падающих предметов. Требования безопасности и методы испытаний.

ГОСТу Р ИСО 8084-99 Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты оператора. Требования безопасности и методы испытаний.

ГОСТу Р ИСО 11169-2000 Машины лесозаготовительные и лесохозяйственные колесные. Тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные колесные. Требования к эффективности и методы испытаний тормозных систем.

Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 направление «Рациональное природопользование» включено в число приоритетных, что предопределяет необходимость ускоренного вовлечения в промышленную перера-

ботку неэффективно осваиваемых лесных ресурсов. В ближайшие годы на отечественных и зарубежных рынках возрастет спрос как на круглые лесоматериалы, так и на вторичные ресурсы лесозаготовок, прежде всего в качестве сырья для биоэнергетики.

Сохранение биоразнообразия лесных экосистем стало одним из основных требований систем лесной сертификации. Перед практической реализацией должны быть оценены последствия воздействия рассматриваемых альтернативных систем машин на лесную среду. При данной оценке необходимо принимать во внимание два следующих аспекта: способ выполнения валки дерева (на землю или с переносом срезанного дерева на волок в вертикальном положении); вид используемой ходовой системы (колесная или гусеничная) и тип трансмиссии применяемых машин (механическая, гидрообъемная или гидромеханическая). Факторы воздействия технологий и машин на среду можно также классифицировать по следующим группам: воздействие на лесные почвы (колееобразование, уплотнение, изменение пористости, минерализация и т.д.); воздействие на оставляемые деревья и их корневые системы, что актуально для несплошных рубок леса (повреждения коры, обломы вершин, ветвей, наклоны ствола, перерезание крупных корней); воздействие на подрост и молодняк; изъятие площадей под технологические нужды (волока, верхние склады и др.).

На современном этапе развития лесовыращивания большое значение приобретает совершенствование способов рубки главного пользования путем внедрения в производство не сплошных рубок, что позволяет обеспечить непрерывность и постоянство лесопользования и лесовосстановления при минимальных нарушениях лесной среды и экологии леса [7].

В настоящее время не сплошные рубки (постоянные, выборочные и рубки ухода) проводятся в явно недостаточных объемах из-за отсутствия специализированных средств механизации, что вызывает необходимость приспособления для этих целей машин и механизмов, предназначенных для сплошных рубок [1, 5].

Существующая техника, взаимодействуя движителем с почвой, оказывает негативное влияние на лесной почвенный покров и гумусовый слой. В процессе работы в лесных условиях ходовая часть базовых машин также уничтожает подрост и повреждает древесную растительность.

Известны установки, снижающие воздействие процесса трелевки на почву, которые посредством тяговых тросов связаны с захватно-срезающими устройствами (ЗСУ), смонтированными на самопередвигающихся каретках. Здесь вместо базового трактора в лесосеку входят каретки с ЗСУ, выполняющие валку и подтрелевку деревьев к базовой машине. Однако в данном случае вероятность сохранения подроста низкая, так как при трелевке деревьев за комель волочащейся кроной уничтожается значительная часть подроста. С целью сохранения лесной среды при не сплошных рубках леса за счет «бесконтактной» трелевки мы предложили лесозаготовительную машину [1]. Лесозаготовительная машина содержит самоходное шасси 1 (рисунок), раму 2, поворотную платформу 3, манипулятор 4, состоящей из телескопических звеньев 5 с боковыми захватами 6 и бортов 7, обрабатывающую головку 8, включающую пильный механизм 9, сучкорезные ножи 10 и протаскивающее устройство 11. Телескопические звенья 5 соединены между собой горизонтальной 12 и вертикальной 13 осями. Лесозаготовительная машина работает следующим образом. Первое звено 5 манипулятора 4

наводят на стоящее вблизи от машины дерево, захватывают его боковым захватом 6 и, разворачивая остальные звенья 5 на осях 13 и наводя последующие звенья 5 на очередные деревья, захватывают их боковым захватом 6 и, разворачивая остальные звенья 5 на осях 13 и наводя последующие звенья 5 на очередные деревья, захватывают боковыми захватами 6, образуя по прямой и восходящей линии желоб из звеньев 6 с бортами 7. На срезаемом дереве обрабатывающей головкой 8 с помощью протаскивающего устройства 11 и сучкорезных ножей 10 обрезаются сучья. Пильным механизмом 9 производят раскряжевку его на сортименты, которые последовательно направляют по наклонному желобу к лесозаготовительной машине для транспортировки. Разработку лесосеки можно проводить, начиная с ближних к лесозаготовительной машине деревьев или с отдаленных от нее, по мере их разработки приближаясь к лесозаготовительной машине.

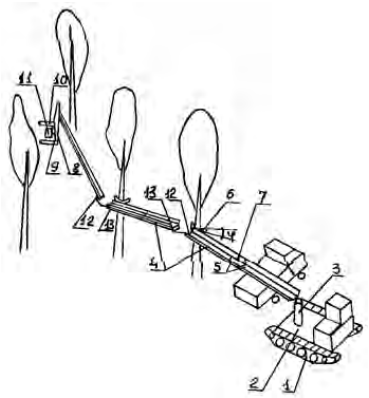


Рис. . Лесозаготовительная машина

Результаты и обсуждение. При работе лесозаготовительных машин под пологом древостоя с целью минимизации повреждений компонентов леса, их перемещение осуществляется по криволинейному маршруту. Такой способ используют при необходимости максимального сохранения куртин подроста, целевых деревьев при рубках ухода и основан на максимальном использовании прогалин и при объезде препятствий. Условно будем считать, что все перемещения лесозаготовительной машины складываются из движений двух типов: по прямой и с поворотом относительно некоторой точки. Контур машины должен при этом перемещаться в пределах свободной от деревьев полосы. Выбор маршрута перемещения лесозаготовительной машины между рабочими позициями должен учитывать координаты деревьев [8-10]. Полосу передвижения можно рассчитать, зная длину, ширину и радиус поворота машины. Деревья, оставляемые на доращивание и отстоящие от границы волока на величину меньше безопасного расстояния, считаются поврежденными. При движении по прямой, ширина полосы равна ширине машины, а при движении по криволинейному участку ее границы определяются ближней и дальней точками машины по отношению к центру поворота, т.е. радиусами r_1 и r_2. Радиус круга, по которому осуществляется объезд препятствия, определяется взаимным положением лесозаготовительной машины и препятствия. Возможность объезда препятствия (оставляемого на доращивание дерева или другого) по рассчитанному радиусу определяется расстоянием до другого объекта, препятствующего переезду. При

расстоянии между центрами двух препятствий (деревьев) l_d диаметры стволов и диаметры безопасных зон соответственно d и d_b, а b_b ширина полосы необходимая для перемещения колесной лесозаготовительной машиной (ЛЗМ) при повороте (рис.) составит:

$$b_b = \sqrt{l_m^2 + (R_{ji} + b_m)^2} - R_{ji}, \quad (1)$$

где l_m – длина лесозаготовительной машины, м; b_m – ширина лесозаготовительной машины, м. Если $l_d - d_b > b_b$, то лесозаготовительная машина проходит между деревьями. Если $l_d - d_b < b_b$, то лесозаготовительная машина не может пройти между этими двумя деревьями. Во всех остальных случаях в той или иной мере повреждаются оба дерева.

Использование предложенной лесозаготовительной машины обеспечит сохранение подроста, почвенного покрова и гумусового слоя за счет использования растущих деревьев в качестве промежуточных опор, что позволит в целом наметить тенденцию к улучшению лесных экосистем и рациональному использованию лесных ресурсов [3, 5, 6].

Выводы. Перемещение короткомерных лесоматериалов малогабаритными трелевочными машинами в пределах полупасек при проведении рубок в этих условиях может привести к повреждению в той или иной степени до 15% деревьев, оставляемых на доращивание. С увеличением густоты древостоя, а также при трелевке длинномерных лесоматериалов риски повреждения деревьев, оставляемых на доращивание, возрастают.

Снижение рисков повреждения деревьев, оставляемых на доращивание, работающими под пологом древостоя машинами, при проведении всех видов несплошных рубок до уровня не выше 10% может быть достигнуто за счет разрубки технологических коридоров.

Библиографический список

1. А.с. 1655371 СССР. Лесозаготовительная машина / Махмутов М.М. // Бюллетень изобретений. 1991. N22.

2. Григорьев И.В., Редькин А.К., Валяжонков В.Д. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова. 2010. 331 с.

3. Декатов Н.Н., Минаев В.Н., Лобовиков С.С. Использование машин фирмы «Терратек» на рубках леса // Тезисы докладов Всесоюз. науч.-технич. совещания: «Лесопользование в лесах различных категорий защитности». М. 1991. С. 61-66.

4. Махмутов М.М. Оптимизация параметров конусности стойки устройства противоскольжения // Тракторы и сельхозмашины. 2013. N6. С. 31-33.

5. Махмутов М.М. Повышение эффективности работы картофелеуборочных агрегатов на переувлажненных почвах: дисс. … канд. техн. наук / Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Саранск. 2013. 172 с.

6. Патент на изобретение № 2453445 РФ Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства, заявка 2010150215/11 / Махмутов М.М., Махмутов М.М., патентообладатель Российский государственный аграрный заочный университет, заяв. 07.12.2010, опубл. 20.06.2012, бюл. N17.

7. Сахапов Р.Л., Мазитов Н.К., Рахимов Р.С., Лобачевский Я.П., Галяутдинов Н.Х., Шарафиев Л.З. Влаго- и энергосберегающая технология обработки почвы и посева в острозасушливых условиях // Техника и оборудование для села. 2013. N3 (189). С. 2-6.

8. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M.M. Risk management model in road transport systems. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 738. N1. C. 012008.

9. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M.M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 738. N1. C. 012119.

10. Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок. М.: Лесная промышленность. 1988. 256 с.

References

1. Patent of the USSR 1655371. Logging machine / Makhmutov M.M. // Bulletin of inventions. 1991. N22.

2. Grigoriev I.V., Redkin A.K., Visioncom V.D. Technology and equipment of timber production. Technology and machinery of logging operations. SPb.: St. Petersburg state timber university of S.M. Kirov. 2010. 331.

3. Decatov N.N., Minaev V.N., Lobovikov S.S. The Use of machines of the company "Terratek" logging. Abstracts of the proceedings of all-Union. Scientific.- tech. the meeting was "Forest management in the forests of different categories of protection". Moscow. 1991. 61-66.

4. Makhmutov M.M. Optimization of parameters of taper of the strut device chains. Tractors and agricultural cars. 2013. N6. 31-33.

5. Makhmutov M.M. Improving the efficiency of the potato aggregates in wet soil]. kand. tech. Sciences. State University of Mordovia them. N.P. Ogarev. Saransk. 2013. 172.

6. Patent RF № 2453445 Skid Device for the wheels of the vehicle, the application 2010150215/11 / Makhmutov M.M., Makhmutov M.M., the patent holder FGBOU VPO "Russian state agrarian correspondence University", stated. 07.12.2010, publ. 20.06.2012, bull. N17.

7. Sakhapov R.L., Mazitov N.K., Rakhimov R.C., Lobachevsky P.J., And Galyautdinov N.H., Sharafiyev L.Z. Its convenient Water- and energy-saving technology of soil tillage and sowing in high-draught conditions. Machinery and equipment for the village. 2013. N3 (189). 2-6.

8. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin H.M., Makhmutov M.M. Risk management model in road transport systems. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 738. N1. 012008.

9. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin H.M., Makhmutov M.M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol. 738. N1. 012119.

10. Redkin A. K. Fundamentals of modelling and optimization of harvesting processes. Moscow: Forest industry. 1988. 256.

УДК 632.331

РАЗРАБОТКА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА С КОМБИНИРОВАННОЙ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

Анатолий Павлович Грибановский, доктор технических наук, академик НАН РК, главный научный сотрудник, e-mail: an-grib@mail.ru;
Аскар Сапашевич Рзалиев, кандидат технических наук;
Валерия Павловна Голобородько, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
Шабден Берикболович Бекмухаметов, магистр;
Научно-производственный центр агроинженерии»,
г. Алматы, Республика Казахстан

Реферат. *Жесткие агротехнологические требования при возделывании зерновых культур в условиях Казахстана предъявляются к посевным машинам, которые должны обеспечивать качественное выполнение посева по технологии «No-tillage» или минимальной обработки почвы. (Цель исследования) Разработать почвообрабатывающий посевной комплекс с комбинированной пневмомеханической высевающей системой, обеспечивающей неравномерность распределения между сошниками семян ± (3-6) процентов и туков ±10 процентов. (Материалы и методы) Использовали классические положения теоретической механики, теории механизмов и машин, механики сплошной среды, механики жидкости и газа, земледельческой механики при проведении теоретических исследований высевающих систем. Провели экспериментальные исследования на лабораторных, лабораторно-полевых установках или на производственных образцах посевных машин с применением соответствующих измерительных приборов и оборудования. (Результаты и обсуждение) Изучили разработку комбинированной пневмомеханической высевающей системы дозирования, распределения и транспортирования семян к сошникам, которая устраняет недостатки пневматических высевающих систем, обеспечивает допустимую агротехнологическими требованиями неравномерность распределения между сошниками семян ± (3-6) процентов и туков ±10 процентов. Выявили, что ее применение обеспечивает восьмидесятипроцентную заделку семян в двухсантиметровом слое на заданную глубину; высоту неровностей поверхностей поля менее допустимой 5,0 сантиметров; заданное уплотнение почвы в слое размещения семян; снижение содержания эрозионно-опасных частиц почвы, полное подрезание сорняков. (Выводы) Разработанный посевной комплекс с комбинированной пневмомеханической высевающей системой обеспечивает допустимую неравномерность распределения семян между сошниками, может функционировать как с централизованной высевающей системой, так и без нее. Завод-изготовитель по заявкам потребителей может формировать комплекс с различной шириной захвата к тракторам класса 2,3,4 и 5.*

Ключевые слова: *посев, агротехнологические требования, норма высева, распределение семян, допустимая неравномерность.*

Для цитирования: *Грибановский А.П., Рзалиев А.С., Голобородько В.П., Бекмухаметов Ш.Б. Разработка почвообрабатывающего посевного комплекса с комбинированной пневмомеханической высевающей системой // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 94-103*

DEVELOPMENT OF SOIL-TILLING AND PLANTING UNIT WITH COMBINED PNEUMATIC-MECHANICAL SOWING SYSTEM

Anatoly P. Gribanovsky, Dr.Sc(Eng.), academician of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, chief researcher, e-mail: an-grib@mail.ru;
Askar S. Rzaliyev, Ph.D.(Eng.);
Valeria P. Goloborodko, Ph.Ag.(Eng.), leading researcher;
Shabden B. Bekmukhametov,
Research and production center of agroengineering, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract. *Particularly tough agrotechnological requirements in cultivation of grain crops in the conditions of Kazakhstan are imposed on sowing machines, which must ensure the high-quality implementation of sowing according to "No-tillage", or minimal tillage. (Research purpose) To develop of soil-tilling and planting unit with a combined pneumonic-mechanical sowing system ensuring roughness of distribution between the seed coulters ± (3-6)% and fertilizers ± 10%. (Materials and methods) When conducting theoretical studies of sowing systems, the classical principles of theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines, continuum mechanics, fluid and gas mechanics, and agricultural mechanics were used. Experimental studies were carried out on laboratory or laboratory field installations or on production samples of sowing machines with use of appropriate measuring instruments and equipment. (Results and discussion), Research on development of combined pneumatic-mechanical sowing system of dosing, distribution and transportation of seeds to coulters, which eliminates disadvantages of pneumatic sowing systems, ensures allowed agrotechnological requirements unevenness of distribution of seeds between coulters ± (3-6)% and fertilizers ± 10%. Revealed that its application provides 80% seed placement in two-centimeter layer to predetermined depth; the roughness height of field surfaces is less than the permissible 5.0 cm; specified soil compaction in the seed placement layer; reducing the content of erosion-hazardous soil particles, complete cutting of weeds. (Conclusions) The developed sowing complex with the sowing system combined pneumomechanical provides admissible unevenness of distribution of seeds between soshnik, can function both with the centralized sowing system, and without it. The manufacturer according to applications of consumers can form a complex with various width of capture to tractors of class 2,3,4 and 5.*

Keywords: *sowing, agrotechnological requirements, seeding rate, seed distribution.*

For citation: *Gribanovsky A.P., Rzaliyev A.S., Goloborodko V.P., Bekmukhametov Sh.B. Development of soil-tilling and planting unit with combined pneumatic-mechanical sowing system.Technical service of cars. 2019. N2 (135). 94-103.*

Введение. Цель посева – заложить основу для оптимального использования потенциальной урожайности районированных зерновых культур в конкретных почвенно-климатических условиях путем равномерного рас-

пределения их семян на единицу площади и на заданную глубину для создания равных возможностей развития каждого из них. Жесткие агротехнологические требования при возделывании зерновых культур предъявляются к посевным машинам, которые должны обеспечивать качественное выполнение технологической операции посева по технологии «No-tillage» или минимальной обработки почвы [1].

Допустимый предел неравномерности высева рекомендовано установить ± 6%, что и было принято при разработке агротехнических требований к посевным машинам.

Посевные машины должны обеспечивать:

- глубину заделки семян зернобобовых в пределах 4-8 см. При этом 80% из них должны находиться в слое, соответствующем средней заданной глубине и двух смежных с ней односантиметровых горизонтах, поскольку отклонение от заданной глубины заделки семян более чем ±10 мм приводит к потере около четверти урожая [1, 2];

- оптимальную плотность почвы (1,1-1,3 г/см^3) в зоне залегания семян (Фогель 1974, William и др. 2014) [3, 4].

С целью формирования исходных требований к сеялкам для посева зерновых культур в засушливых условиях Всесоюзным НИИ сельского хозяйства (ныне КазНИИЗХ им. А.И. Бараева) и другими научно-исследовательскими институтами были проведены многолетние исследования [5, 6].

При сжатых агротехнических сроках посева зерновых культур на больших площадях посевные агрегаты должны иметь высокую производительность, которая достигается увеличением скорости их движения или ширины захвата посевных машин. На широкозахватных посевных машинах применяют две системы дозирования и подачи семян и туков в сошники: механическую с использованием индивидуальных для каждого сошника катушечных дозаторов; централизованную высевающую систему (ЦВС) с пневматическим распределением и транспортированием семян и туков по сошникам. ак показали многочисленные исследования, каждая из этих систем имеет как достоинства, так и недостатки [7-11]. Поэтому для выбора высевающей системы, которая бы удовлетворяла агротехнологическим требованиям, предъявляемым к качеству посева широкозахватными посевными машинами, необходимо провести анализ результатов исследований и испытаний этих систем и выбрать наиболее эффективную.

Поскольку чисто пневматическим путем невозможно добиться необходимой равномерности распределения семян по площади питания, то для посева семян технических, овощных и бобовых культур разработаны пневматические аппараты точного высева. Эти аппараты сложны по устройству, и каждый из них устанавливают для подачи семян только в один или только в два сошника. Применение таких сложных высевающих аппаратов при возделывании упомянутых выше культур оправдан, так как они по сравнению с зерновыми культурами возделываются на незначительных площадях, имеют более высокую урожайность и цену реализации единицы получаемой продукции.

В связи с тем, что у широкозахватных посевных машин с ЦВС устранить недостатки по указанным выше причинам в принципе не представляется возможным, нами предложено использовать на таких сеялках комбинированную пневмомеханическую высевающую систему.

Увеличение ширины захвата посевной машины с дозированием и рас-

пределением семян и туков между сошниками с помощью индивидуальных катушечных дозаторов предопределяет необходимость принятия длины емкости практически равной ширине захвата сеялки. В этом случае по понятным причинам существенно увеличить вместимость таких емкостей не представляется возможным. В связи с этим ширина захвата посевных машин уменьшается, а эффективность использования времени смены таких агрегатов из-за необходимости частой загрузки их емкостей семенами и туками существенно снижается. Для устранения этого недостатка широкозахватных посевных машин применяют централизованные емкости для семян и туков большой вместимости и пневматические высевающие системы.

Посевным комплексам, разработанным в странах ближнего и дальнего зарубежья присущи следующие недостатки.

Не все зарубежные посевные комплексы могут одновременно выполнять предпосевную обработку почвы и подрезание сорных растений; посев семян и подпочвенное внесение туков; послепосевное прикатывание. Так, например, в модели посевного комплекса Concept 2000 фирмы «Morris» для послепосевного прикатывания почвы к нему присоединяют агрегат спиральных катков. В основу зарубежных ЦВС положена схема пневматического распределения и транспортирования семян фирмы «Аккорд», которая не может обеспечить необходимую равномерность распределения семян между сошниками ±3% и туков ±10%, поскольку пневмотранспортирование и распределение высеваемых материалов по сошникам являются случайными процессами и зависят от многих неуправляемых факторов: варьирования скорости воздушной несущей среды, разницы в длине пневмосемяпроводов, различных физико-механических и аэродинамических свойств семян и туков и т.д.

Цель исследования – разработать почвообрабатывающий посевной комплекс с комбинированной пневмомеханической высевающей системой, обеспечивающей неравномерность распределения между сошниками семян ±(3-6)% и туков ±10%.

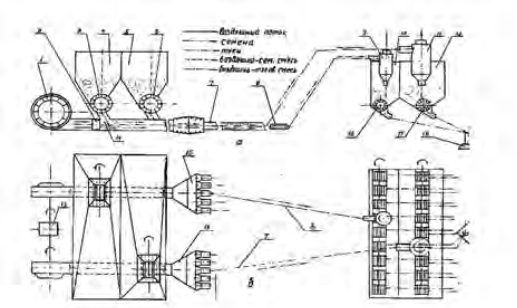
Материалы и методы. При проведении теоретических исследований высевающих систем авторы использовали классические положения теоретической механики, теории механизмов и машин, механики сплошной среды, механики жидкости и газа, земледельческой механики. Экспериментальные исследования высевающих систем проводили на специально разработанных лабораторных или лабораторно-полевых установках или на производственных образцах посевных машин с применением соответствующих измерительных приборов и оборудования. Так, например, при проведении исследований двухкомпонентных потоков в трубопроводах применялся радиометрический способ. Обработка экспериментальных данных авторами осуществлялась общеизвестными методами математической статистики.

Приемочные испытания сеялки-культиватора блочно-модульной СКБМ-12, в которой использована предложенная комбинированная пневмомеханическая высевающая система, проводили согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 31 345-2007 Сеялки тракторные. Методы испытаний.

Достоверность результатов этих исследований и испытаний не вызывает сомнений и они могут быть использованы при выборе эффективной высевающей системы для широкозахватных посевных машин и ее оценки.

Результаты и обсуждение. Предложенная комбинированная пневмомеханическая высевающая система (рис. 1) содержит централизованные емкости для семян (4) и туков (5), на каждой из которых установлены общие до-

заторы катушечного типа (3) и (6); приемные камеры (2), состоящие из конфузора и диффузора; два высоконапорных вентилятора (1), привод которых осуществляется ВОМ трактора и редуктора (13); два горизонтальных высоконагруженных распределителя семян (15) и туков (19), подающих с помощью материалопроводов (7) и (8) высеваемые материалы ко второй ступени распределения. Горизонтальные распределители семян и туков имеют количество выходных патрубков, равных числу узкозахватных почвообрабатывающе-посевных модулей-секций.



а – вид сбоку; *б – вид сверху*

Рис. 1. Комбинированная пневмомеханическая высевающая система

В качестве второй ступени распределения используют обычные зернотуковые емкости (компенсаторы) для семян (12) и туков (10) с индивидуальными катушечными дозаторами (16) и (17), количество которых равно числу сошников модуля-секции.

На зернотуковых емкостях (компенсаторах) второй ступени распределения для разделения воздушного потока и высеваемых материалов устанавливают циклоны-разгрузители (9) и (11) соответствующей производительности. Индивидуальные катушечные дозаторы зернотуковых емкостей подают в семяпроводы семена и туки, которые под действием силы тяжести поступают в сошники (18).

Для снижения неравномерности распределения смеси между выходными патрубками горизонтального высоконагруженного распределителя семян и туков в него по сравнению с предложенным внесены следующие изменения (рис. 2).

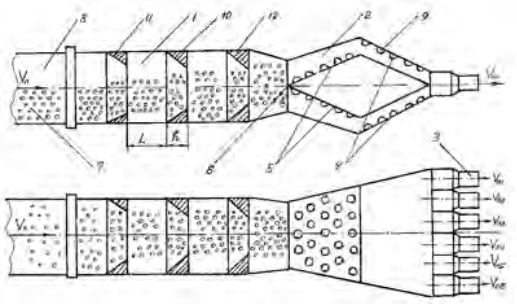


Рис. 2. Горизонтальный распределитель сыпучих материалов для централизованных высевающих систем сеялок

Предлагаемый горизонтальный распределитель состоит из входного патрубка 1 и выходных патрубков 3, корпуса 2, ромбической перегородки 6,

установленной на высоте 0,5 диаметра входного патрубка и разделяющей внутреннюю полость на верхнюю и нижнюю части. На обращенных к потоку воздушной семенной-туковой смеси 7 стенках корпуса 2 и перегородки 6 установлены распределительные пластины 4 и 5 со сферическими отражателями 9. К входному патрубку 1 присоединяется подводящий пневмоматериалопровод 8.

Входной патрубок 1 снабжен кольцевыми турбулизаторами 10, выполненными в виде усеченного полого конуса и установленными с определенными интервалами между собой. При этом турбулизаторы обращены навстречу потоку смеси большими диаметрами колец усеченного конуса, который с целью снижения травмирования семян равен внутреннему диаметру входного патрубка. Причем у первого входного со стороны направления движения потока смеси турбулизатора 11 меньший диаметр его усеченного конуса имеет большее значение, чем у меньшего диаметра выходного турбулизатора 12.

Поступающий по пневмоматериалопроводу 8 воздушно-семенной- туковый поток 7, твердые частицы которого перемещаются, как указывалось выше, по нижней части пневмоматериалопровода, попадает во входной патрубок 1 с турбулизаторами 10, которые усиливают турбулентность потока. В связи с тем, что у входного кольцевого турбулизатора 11 меньший диаметр усеченного конуса больше, чем у выходного турбулизатора 12, твердые частицы многокомпонентного потока 7 центрируются и более равномерно распределяется по площади поперечного сечения выходного отверстия входного патрубка 1. Поэтому ромбическая перегородка 6 у предлагаемого горизонтального распределителя сыпучих материалов будет, в отличие от существующих, делить поток смеси практически на равные части между нижней и верхней полостями распределителя, создавая в них примерно одинаковые условия движения семян и туков, что и позволяет снизить неравномерность распределения потока между выходными патрубками 3.

Предлагаемая комбинированная пневмомеханическая высевающая система будет нормально функционировать только в том случае, если подаваемое центральным катушечным дозатором количество семян и туков будет равно их высеваемому количеству индивидуальными катушечными аппаратами технологических модулей.

Общеизвестно, что катушечные дозаторы сеялок обеспечивают заданные нормы высева семян с неустойчивостью общего высева ±2%. Неравномерность же распределения высеваемого материала между выходными каналами горизонтального делителя, как указывалось выше, может достигать ±(10-15)%. В связи с этим есть вероятность того, что это условие может не выполняться. Для снижения такой вероятности емкости технологических модулей предлагаемой пневмомеханической высевающей системы должны выполнять роль компенсаторов, то есть перед началом работы они заполняются семенами примерно на 1/4 их полной вместимости. Однако при длительной работе агрегата разница в количестве подаваемых и расходуемых материалов может привести к переполнению или опорожнению компенсирующих емкостей некоторых модулей. Поэтому целесообразно определить промежутки времени, за которые произойдет преждевременное или опорожнение, или переполнение емкостей-компенсаторов модулей.

Примем, что посевная широкозахватная машина состоит из шести технологических модулей-секций. Вместимость зерновой емкости-компенса-

тора модуля 276 дм3, а с учетом плотности пшеницы количество их в емкости будет равно 220,8 кг. В случае если одна четвертая часть этого количества семян (55,2 кг) используется в качестве компенсационного, то их «рабочее» количество составит 165,6 кг.

При ширине захвата технологического модуля 2,0 м и шести модулей-секций захват посевной машины равен 12,0 м. Принимаем скорость движения агрегата 10 км/ч, а норму высева семян 250 кг/га. При принятых допущениях производительность агрегата в час чистой работы будет равна 12 га/ч. Поэтому централизованный катушечный дозатор должен подавать на горизонтальный делитель 3000 кг/ч, или с учетом неустойчивости общего высева (±2%) 2940-3060 кг/ч, а в каждый из шести выходных патрубков делителя 490-510 кг/ч.

Допустим, что в один из выходных патрубков горизонтального делителя поступает только 490 кг/ч, а в другой 510 кг/ч. Тогда при неравномерности распределения семян между выходными патрубками ±15% в одну из емкостей технологического модуля может поступать 490±(490·0,15), т.е. 416,5-563,5 кг/ч, а в другую 510±(510·0,15), т.е. 433,5-586,5 кг/ч. Возьмем самое неблагоприятное сочетание событий – в одну компенсационную емкость модуля будет постоянно подаваться минимальное количество семян 416,5 кг/ч, а в другую максимальное 586,5 кг/ч. При принятых скорости движения агрегата 10 км/ч, норме высева 250 кг/га и ширине захвата модуля-секции 2,0 м количество расходуемых им семян в час чистого времени работы агрегата составит 500 кг/ч, или с учетом неустойчивости общего высева катушками (±2%) – 500±(500·0,2), то есть 490-510 кг/ч.

Для подсчета времени, необходимого для наступления ситуации преждевременного опорожнения или переполнения емкости модулей, примем самые маловероятные сочетания событий: в одну компенсационную емкость подается минимальное количество семян 416,5 кг/ч, а расходуется максимальное 510 кг/ч, при этом недостающее количество семян равно 93,5 кг/ч; в другую емкость подается максимальное количество семян 586,5 кг/ч, а расходуется минимальное 490 кг/ч, то есть избыточное количество семян равно 96,5 кг/ч. С учетом «рабочего» количества семян в компенсационной емкости модуля преждевременное опорожнение наступит через 165,6:416,5=0,4 ч, а переполнение через 165,6:586,5=0,28 ч. Поэтому в первом случае за 0,4 часа чистой работы агрегата в емкости недостаток семян составит 93,5·0,4=37,4 кг, а во втором излишек семян будет 96,5·0,28=27,02 кг. Поскольку «рабочее» количество семян в емкости равно 165,6, то преждевременное опорожнение наступит через 165,6:37,4=4,43 часа, а переполнение через 165,6:27,2=6,13 ч. Проведя аналогичные расчеты для внесения стартовой дозы туков одновременно с посевом получим, что преждевременное опорожнение туковой емкости модуля наступит через 3,8 ч, переполнение через 5,4 ч. Совпадение принятых в расчете событий маловероятно, поскольку варьирование норм высева семян и туков дозаторами катушечного типа, неравномерности распределения их между выходными патрубками горизонтального делителя являются случайными процессами, в которых числовые значения изменяются относительно среднего показателя в меньшую или большую сторону. Поэтому с большой долей вероятности можно предположить, что преждевременного опорожнения или переполнения емкостей технологических модулей не произойдет в течение всего времени смены (10 ч).

Разработанная комбинированная пневмомеханическая высевающая си-

стема использована при создании семейства сеялок-культиваторов блочно-модульных к тракторам различных классов, в том числе СКБМ-12 к трактору класса 5 . Новизна примененных при их создании технических решений защищена пятью патентами Республики Казахстан на изобретение, включая два патента на комбинированную пневмомеханическую высевающую систему. Результаты приемочных испытаний СКБМ-12, проведенных аккредитованным испытательным центром КФ ТОО «НПЦ МЭСХ» (протокол № 228-428-2011 от 10 октября 2011 г.), показали следующее.

Зерновой и туковый дозаторы емкостей блока ЦВС обеспечивают нормы высева семян пшеницы (сорт «Омская 29») и гранулированного минерального удобрения (суперфосфата). Максимальная высевающая способность пшеницы составила 256,5, а минимальная 48,6 кг/га, а суперфосфата соответственно 206,3 и 4,48 кг/га, что находится в допустимых агротребованиями пределах отклонений от заданных норм высева (±5%).

Таким образом, предложенная комбинированная пневмомеханическая система для широкозахватных посевных машин позволила устранить основной недостаток пневматических высевающих систем – снизить неравномерность распределения семян между сошниками с 10-30% до уровня ±2,5% при допустимой ±6%.

Следует отметить, что реализация при разработке СКБМ-12 других предложенных нами новых технических решений обеспечила качественное выполнение сеялкой и других технических показателей процесса посева зерновых культур в степных засушливых регионах Казахстана.

Выводы. Применение комбинированной пневмомеханической высевающей системы позволяет:

- обеспечить допустимую агротехнологическими требованиями неравномерность распределения между сошниками семян ±(3-6)% и туков ±10%. Такую равномерность зарубежные посевные комплексы, в основу ЦВС которых положен только пневматический принцип распределения, обеспечивать не в состоянии (обычно ± (10-30)%);

- поставлять СКБМ по заявкам потребителей для работы как с централизованной высевающей системой, так и без нее с использованием только высевающих систем емкостей-компенсаторов технологических модулей.

Почвообрабатывающий посевной комплекс СКБМ-12 обеспечивает: 80% заделку семян в двухсантиметровом слое на заданную глубину; высоту неровностей поверхностей поля менее допустимой 5,0 см; заданное уплотнение почвы в слое размещения семян; снижение эрозионно-опасных частиц почвы в слое 0-5 см; практически полное подрезание сорняков.

Применяемый в СКБМ блочно-модульный принцип позволяет, в отличие от зарубежных посевных комплексов, формировать заводу изготовителю по заявкам потребителей агрегаты различной ширины захвата к тракторам класса 2,3,4 и 5. По заявкам потребителей СКБМ могут комплектоваться заводом изготовителем лапами-сошниками и прикатывающими катками для выполнения рядкового или ленточного посева.

СКБМ оснащены:

- датчиками уровня семян и туков в емкостях ЦВС и в каждой емкости-компенсаторе технологических модулей;

- датчиками контроля работы централизованных катушечных дозаторов ЦВС и подачи семян и туков в емкости-компенсаторы технологических модулей;

- датчиками контроля работы высевающих аппаратов емкостей-компенсаторов технологических модулей.

Показатели всех датчиков выводятся на пульт сигнализации, устанавливаемый в кабине тракториста. Стоимость СКБМ по сравнению с аналогичными по ширине захвата посевными комплексами дальнего зарубежья в 1,4-1,6 раз меньше. Применение СКБМ-12 по сравнению с посевным агрегатом СЗТС-12 позволяет снизить эксплуатационные затраты на 14,1% и получить годовой экономический эффект 416,9 тыс. тенге.

Библиографический список

1. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства. М.: Росинформагротех. 2012. 284 с.

2. Conceição L.A., Barreiro P., Dias S., Garrido M., Valero C., Silva J.R.M. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal. Precision Agriculture. 2016. Vol. 17. 36-52.

3. Фогель В.Т. Обоснование оптимальной плотности посевного слоя карбо-натных черноземов при посеве яровой пшеницы // Механизация сельскохозяйственного произ¬водства: научно-техн. бюлл. М.: ВАСХНИЛ, ВНИИЗХ. 1974. С. 66-80.

4. Crabtree W.L., Henderson C.W.L. Furrows, press wheels and wetting agents improve crop emergence and yield on water repellent soils. Plant and Soil, 2014. Iss. 1. 1-8.

5. Сулейменов М.К. Агротехнические требования к посеву зерновых культур в Северном Казахстане // Точный посев зерновых и пропашных культур. М.: ВИСХОМ. 1984. С. 15-19.

6. Сулейменов М.К. Интенсивная технология возделывания яровой пшеницы. Алма-Ата: Кайнар. 1988. 166 с.

7. Матюшков М.И., Быхалов В.Е. Некоторые результаты сравнительных испытаний высевающих систем с централизованным высевом // Вопросы механизации полевых работ при почвозащитном земледелии: научно-техн. бюлл. Целиноград: ВНИИЗХ. 1987. N61. С. 22-35.

8. Грибановский А.П., Рзалиев А.С., Мамедов Ф.И., Коренчук П.П. О критической скорости воздушного потока сеялки с централизованной высевающей системой // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 2007. N7. С. 56-60.

9. Шаршуков И.А. Параметры распределителя пневматической сеялки // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. N8. С. 28-30.

10. Yazgi A., Degirmencioglu A. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plante. Journal of the International Measurement Confederation. 2014. N56. 128-135. 11. Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. Soil & Tillage Research. 2009. N104(1). 121-125.

References

1. Chernoivanov V.I., Ezhevsky A.A., Fedorenko V.F. Global trends in machine-technological support of intellectual agriculture. M.: Rosinformagrotech. 284.

2. Conceição L.A., Barreiro P., Dias S., Garrido M., Valero C., Silva J.R.M. A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the Alentejo region, Portugal. Precision Agriculture. 2016. Vol. 17. 36-52.

3. Fogel V.T. Substantiation of optimum density of the sowing layer of carbonaceous

chernozem when sowing spring wheat. Mechanization of agricultural production: scientific and technical bulletin. Moscow: VAARL, VRIZH. 1974. 66-80.

4. Crabtree W.L., Henderson C.W.L. Furrows, press wheels and wetting agents improve crop emergence and yield on water repellent soils. Plant and Soil. 2014. Iss. 1 1-8.

5. Suleymenov M.K. Agrotechnical requirements for planting crops in northern Kazakhstan. Precise sowing of grain and tilled crops. Moscow: VIAOM. 1984. 15-19.

6. Suleimenov M.K. Intensive cultivation technology of spring wheat. Alma-Ata: Kaynar. 1988. 166.

7. Matyushkov M.I., Bykhalov V.E. Some results of comparative tests of seeding systems with centralized seeding. Questions of mechanization of field work in conservation agriculture. Scientific and Technical Bulletin. Celinograd: VNIIZH. (1987). N61. 22-35.

8. Gribanovsky A.P., Rzaliyev A.S., Mamedov F.I., Korenchuk P.P. About critical speed of an air stream of a seeder with the centralized sowing system. Bulletin of agricultural science of Kazakhstan. 2007. N7. 56-60.

9. Sharshukov I.A. Parameters of pneumatic seed drill distributor. Tractors and agricultural machinery. 2005. N8. 28-30.

10. Yazgi A., Degirmencioglu A. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plante. Journal of the International Measurement Confederation. 2014. N56. 128-135.

11. Karayel D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. Soil & Tillage Research. 2009. N104(1). 121-125.

УДК 636.084.7

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОРМОПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

Алексей Владимирович Брусенков, доцент, кандидат технических наук,
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru;
Василий Петрович Капустин, профессор, доктор технических наук-
Тамбовский государственный технический университет»,
г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. *Надежность и безотказность работы машин и оборудования во многом зависят от соблюдения периодичности и качества их технического и технологического обслуживания. (Цель исследования) Определить состояние и перспективы развития диагностирования технического состояния машин и технологического оборудования животноводческих ферм. (Материалы и методы) Использовали результаты анализа отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования животноводческих ферм и комплексов, выполненные в 2012 году ГОСНИТИ. (Результаты и обсуждение) Для ферм крупного рогатого скота приобретают порядка 200 мобильных кормораздатчиков, большая часть поступает по импорту. Выявили, что для производства свинины при кормлении сухими комбикормами из 13 наименований машин отечественной промышленностью выпускаются только 4. Определили, что 80% технологического оборудования, используемого на фермах, эксплуатируется за пределами амортизационного срока. Ежегодно обновляют не более 2 процентов животноводческих машин, вместо установленных нормативами 13-14 процентов. Отметили, что для диагностики и обслуживания оборудования животноводческих ферм необходимо наличие специализированной ремонтно-обслуживающей базы с созданием мобильных высококвалифицированных ремонтно-обслуживающих бригад. (Выводы) Отрасль животноводства нуждается в создании сервисной инфраструктуры с новыми методическими подходами с обоснованными рациональными формами обслуживания.*

Ключевые слова: *животноводство, надежность машин и оборудования, диагностика.*

Для цитирования: *Брусенков А.В., Капустин В.П. Состояние и перспективы развития диагностирования технологического кормоприготовительного оборудования на животноводческих фермах // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 104-109.*

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF DIAGNOSTICS TECHNOLOGICAL FEED PREPARATION EQUIPMENT FOR LIVESTOCK FARMS

Alexey V. Brusenkov., Ph.D.(Eng.);
Vasily P. Kapustin., Dr.Sc(Eng.),
Tambov state technical University, Tambov, Russian Federation

Abstract. *The reliability and reliability of machines and equipment largely depend on*

the frequency and quality of their maintenance and technological service. (Purpose of research) to Define a state and the prospects of development of diagnosing of technical condition of cars and processing equipment of livestock farms. (Materials and methods) the results of the analysis of refusals and types of iznos of the domestic and foreign equipment of livestock farms and complexes executed in 2012 by GOSNITI Used for a research. (Results and discussion) Now for farms of the cattle about 200 mobile cattlefeeders get, the most part arrives on import. Therefore, with the increase in the level of mechanization of works on livestock farms and complexes, it is necessary to ensure the development and implementation of a set of measures to improve the forms and methods of technical and technological maintenance and diagnostics aimed at improving the designs of machines and equipment, increasing the efficiency of their use, reducing the complexity and cost of repair work. (Conclusions) The Branch of livestock production needs creation of service infrastructure with new methodical approaches with reasonable rational forms of service.

Keywords: *animal husbandry, reliability of machines and equipment, diagnostics.*

For citation: *Brusenkov A.V., Kapustin V.P. The state and prospects of development of diagnostics technological feed preparation equipment for livestock farms. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 104-109.*

Введение. Современные животноводческие фермы – это высокотехнологичные специализированные сельскохозяйственные предприятия по производству продукции животноводства. Рост производства продукции животноводства невозможен без создания прочной кормовой базы, а продуктивность животных на 60-65% определяется их кормлением. Как показывают исследования ученых, кормление должно осуществляться сбалансированными по питательным веществам кормосмесями, так как ни один корм не содержит в требуемых количествах и соотношениях все необходимые элементы питания. Известно, что на технологию приготовления и раздачи кормов приходится около 40% всех трудозатрат на ферме, а затраты на корма составляют порядка 50-60% себестоимости продукции. Применение инновационной техники на животноводческих фермах и комплексах, прежде всего, для приготовления качественных сбалансированных рационов по питательной ценности, их транспортировки и нормированной выдачи кормовых смесей, в соответствии с зоотехническими требованиями, способствует повышению продуктивности животных, снижению расхода кормов за счет хорошей их поедаемости и усвояемости. Основными регуляторами повышения продуктивности животных и качества производимой продукции выступают техника и оборудование. Кроме того, используемые на животноводческих фермах и комплексах машины и технологическое оборудование должны обеспечивать непрерывность, ритмичность технологического процесса, не вызывать стрессов у животных [1, 2]

Цель исследования – определить состояние и перспективы развития диагностирования технического состояния машин и технологического оборудования животноводческих ферм.

Материалы и методы. Для исследования использовались результаты анализа отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования животноводческих ферм и комплексов, выполненные в 2012 г. ГОСНИТИ.

Результаты и обсуждение. Для приготовления и раздачи кормов на молочных фермах используют как передвижные кормораздатчики различного типа, так и стационарные транспортеры-раздатчики. До 1990 г. на животноводческие фермы страны ежегодно поступали более 39 тыс. мобильных раз-

датчиков грубых и сочных кормов, около 5 тыс. стационарных раздатчиков, 15-20 тыс. измельчителей грубых кормов и около 10-12 тыс. смесителей кормов [3]. В настоящее время для ферм КРС приобретают около 200 мобильных кормораздатчиков, причем большая часть из них поступает по импорту, что позволяет частично восполнить недостаток технических средств. Прогноз структуры применяемых машинных технологий на молочных фермах России до 2020 г. показывает, что при реализации декларируемых Правительством объемов поддержки отрасли (4 млрд руб. в год) вполне реально к указанному сроку осуществить техническое переоснащение и замену изношенного и морально устаревшего оборудования на животноводческих фермах с привязным содержанием путем реконструкции и технологической модернизации существующих ферм и строительства новых, а долю прогрессивных беспривязных технологий довести до 37% [3]. Анализ обеспеченности технологий производства свинины машинами и оборудованием для выполнения технологических процессов показывает, что для производства свинины на при кормлении сухими комбикормами из 13 наименований требуемых машин отечественная промышленность выпускает только 4; при кормлении свиней жидкими комбикормами (влажностью 75-78%) и при кормлении свиней влажными кормосмесями из комбикорма и воды влажностью 70-75% – необходимый комплект оборудования поточной линии не выпускается.

Такая оснащенность животноводческих ферм машинами и технологическим оборудованием ставит перед инженерно-техническими работниками служб важнейшую задачу – бесперебойно использовать их, что становится основным условием эффективного использования техники в животноводстве. Коэффициент готовности всех технологических средств должен быть не ниже 0,9-0,99. Это требует высокой организации работ по техническому и технологическому обслуживанию машин и оборудования в животноводстве и невозможно без четко налаженной службы контроля их технического состояния. Надежность работы машин и бесперебойное их использование достигаются квалифицированным технологическим обслуживанием, рациональной системой технического обслуживания и диагностики, обеспечением запасными частями, а также сбором и анализом эксплуатационной информации (характеристика и учет отказов). Проверка технологического оборудования и машин, используемых на фермах и комплексах сельхозпредприятий показала, что почти 80% их них эксплуатируются за пределами амортизационного срока, что требует значительных капитальных затрат на их ремонт. Животноводческое оборудование используется более 10 лет, вместо нормированного времени 7 лет.

Ежегодно обновляют не более 2% животноводческих машин, вместо установленных нормативами 13-14% [4, 5]. В России в настоящее время из-за спада уровня производства продукции животноводства практически отсутствует специализированное сельскохозяйственное машиностроение, а потребность в машинах и оборудовании для животноводства на 90% удовлетворяют преимущественно за счет импортной техники (Германия, Беларусь, США, Бельгия и другие), стоимость которой в 2,5-3 раза выше, чем стоимость машин отечественного производства [3, 6, 7]. Исследования по изучению условий эксплуатации техники в реальных условиях показали, что большинство сельхозпредприятий не в состоянии обновить устаревшую и изношенную технику вследствие низкой доходности от реализации животноводческой продукции, поэтому основную массу машин и оборудования эксплуатируют свыше нормативных сроков. В процессе эксплуатации машин и оборудования их работо-

способность снижается главным образом из-за износов и разрушений отдельных деталей или их поверхностных слоев, вследствие чего снижается как производительность, так и надежность оборудования. Потери животноводческой продукции из-за некачественного выполнения процессов технического и технологического обслуживания кормоприготовительного оборудования на животноводческих фермах и комплексах или по причине их отказов значительно превышают затраты на техническое обслуживание и ремонт. Так, в 2012 г. ГОСНИТИ провел анализ отказов и видов износов отечественного и зарубежного оборудования животноводческих ферм и комплексов [6].

По итогам исследований выявили, что в результате отсутствия в большинстве хозяйств соответствующих инженерно-технических служб, восстановлением деталей и ремонтом вышедших из строя узлов на животноводческих фермах и комплексах практически не занимаются (за исключением несложного технологического оборудования), а ремонт более сложного технологического оборудования осуществляют в сервисных центрах производителей путем полной замены деталей, узлов и агрегатов. Предприятия технического сервиса обслуживают, как правило, не более 15-20% парка животноводческих машин и оборудования [8, 9]. Фирменное обслуживание осуществляют иностранные компании, поэтому затраты на поддержание машин и оборудования в животноводстве в работоспособном состоянии составляют порядка 17-20 млрд руб. в год [6, 7]. Использование машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов сверх амортизационного периода влечет за собой повышение расхода средств на поддержание их в работоспособном состоянии, в результат е чего сельхозпроизводители вынуждены приобретать дополнительное количество запасных частей, ремонтных материалов и самостоятельно выполнять возрастающие объемы ремонтно-обслуживающих работ. Существующее технологическое оборудование для приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота и на свиноводческих комплексах работает в условиях агрессивных сред и абразивного износа.

При несоблюдении требований ежедневного и периодического технического обслуживания происходит резкое нарастание количества отказов машин или их преждевременный выход из строя. В современных условиях концентрации поголовья остановка кормоцеха даже на один день снижает продуктивность животных на 15-20%. Поскольку большинство используемых кормоцехов не имеет дублирующего или резервного технологического оборудования, выход из строя одной или нескольких машин оказывает существенное влияние не только на ритмичность технологических процессов, но и на экономические показатели работы ферм и комплексов. Для увеличения срока службы составных частей кормоприготовительных агрегатов необходимо систематически контролировать их технические параметры, выяснять причины возникновения неисправностей и своевременно их устранять. При проведении технических осмотров большое влияние оказывают средства диагностирования, позволяющие без разборки определять состояние машин. Это значительно снижает эксплуатационные издержки за счет своевременного обнаружения неисправностей и предотвращения отказов, сохранения оптимальных регулировок, значительного сокращения простоя машин по причине отказов. Квалифицированная безразборная оценка технического состояния машин и оборудования позволяет свести к минимуму операции по техническому обслуживанию и ремонту, а также по замене отдельных деталей, узлов и агрегатов [10]. Обеспечить необходимыми приборами, оборудова-

нием и оснасткой все фермы и комплексы в настоящее время нецелесообразно и экономически невыгодно, поэтому их необходимо концентрировать на специализированных ремонтно-технических предприятиях. Крупные сельскохозяйственные предприятия и агрохолдинги в большинстве случаев оснащены сложной и дорогостоящей инновационной техникой, обслуживание которой должны осуществлять высококвалифицированные инженерно-технические службы с применением современного оборудования для проведения технического обслуживания, ремонта и диагностики. Основными причинами непопулярности специализированного технического сервиса в животноводстве стали также дороговизна и низкое качество оказываемых услуг. Поэтому во многих хозяйствах машины и оборудование обслуживают и ремонтируют собственными силами и, как правило, также некачественно. Наличие необходимой специализированной ремонтно-обслуживающей базы является основным условием поддержания машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов в работоспособном состоянии. Сохранность и эффективность использования техники в животноводстве зависит от уровня развития этой базы. В каждом конкретном случае при выборе формы обслуживания сельхозпроизводитель исходит из соображения минимальных затрат на техническое обслуживание и ремонт. Поэтому в организационном плане инженерно-технические службы должны обеспечить этот минимум затрат [6, 8].

Выводы. Отрасль животноводства нуждается в создании определенной сервисной инфраструктуры с новыми методическими подходами с обоснованными рациональными формами обслуживания, ремонта и диагностики машин, отвечающими условиям многоукладной экономики в виде совершенной и доступной информации обо всех видах услуг, резервными запасами агрегатов и узлов машин, их оперативной доставкой к животноводческим объектам, а также мобильными высококвалифицированными ремонтно-обслуживающими бригадами, обладающими достаточным материально-техническим обеспечением. Такая система позволит снизить затраты на ремонт, техническое и технологическое обслуживание, повысить уровень технической готовности, продлить срок службы машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов и повысить качество и количество производимой продукции.

Библиографический список

1. Морозов Н.М., Морозов И.Ю. Факторы, влияющие на эффективность применения инновационной техники и ресурсосберегающих технологий в животноводстве. Вестник ВНИИМЖ. 2017. N1(25). С. 9-20.

2. Тихомиров И.А., Андрюхина О.Л., Скоркин А.В. Ресурсосберегающие технологии производства высококачественного молока. Вестник ВНИИМЖ. 2017. N4(28). С. 92-98.

3. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Т. 2. Животноводство (Проект). М.: ВИМ. 2012. 211 с.

4. Черноиванов В.И. Развитие системы технического обслуживания машин в животноводстве. Вестник ВНИИМЖ. 2012. N1(5). С. 18-26.

5. Морозов Н.М., Рассказов А.Н. Состояние и направления развития материально-технической базы животноводства России. Вестник ВНИИМЖ. 2016. N2(22). С. 14-20.

6. Брусенков А.В., Пилягин А.С. Эксплуатация машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов в животноводстве // Теоретические и практические аспекты развития науки и образования в современном мире 16 мая 2017 года (г. София, Болгария). Научно-издательский центр «Мир науки». 2017. С.50-58.

7. Скоркин В.К. Современные требования производства конкурентоспособной молочной продукции. Вестник ВНИИМЖ. 2017. N4 (28). С. 4-9.

8. Цой Л.М. Исследования по техническому сервису в животноводстве. Вестник ВНИИМЖ. 2014. N2(14). С. 94-101.

9. Соловьев С.А., Горячев С.А. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве. Вестник ВНИИМЖ. 2016. N2(22). С. 49-52.

10. Брусенков А.В., Капустин В.П., Сычев Е.И. Техническая диагностика машин и оборудования, применяемых в животноводстве // В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов [электронный ресурс]: материалы Международной научно-практической конференции 7-9 июня 2016г., г. Тамбов. Тамбов: Тамбовский государственный технологический университет. 2016. Т. 2. С.12-15.

11. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М.,Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // Вестник ВИЭСХ. 2018 №4(33). С. 150-156.

12. Измайлов А.Ю., Лобаческий Я.П., Марченко О.С.. Ценч Ю.С. Создание инновационной техники и ресурсосберегающих технологий производства кормов – основа развития животноводства //Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинжереннрый университет им. В.П. Горячкина. 2017. N6(82). С. 23-28

References

1. Morozov N.M., Morozov I.Yu. Factors influencing the effectiveness of applying innovative technology and energy-saving technologies in livestock. Bulletin of VNIIMI. 2017. N 1(25). 9-20.

2. Tikhomirov I.A., Andruhina O.L., Skorkin A.V. Resource-Saving technologies of production of high quality milk. Bulletin of VNIIMI. 2017. N4(28). 92-98.

3. System of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. Vol. 2. Livestock (Project). Moscow: VIM. 2012. 211.

4. Chernoivanov V.I. The Development of the maintenance system of machinery in animal production. Bulletin of VNIIMI. 2012. N1(5). 18-26.

5. Morozov N.M., Stories A.N. State and directions of development of material and technical base of animal husbandry of Russia. Bulletin of VNIIMI. 2016. N2(22). 14-20.

6. Brusenkov A.V., Pilyagin A.S. Operation of machines and equipment for preparation and distribution of feed in animal husbandry. Theoretical and practical aspects of the development of science and education in the modern world 16 may 2017 (Sofia, Bulgaria). Scientific publishing center «World of science». 2017. 50-58.

7. Skorkin V.K. Modern requirements for the production of competitive dairy products. Bulletin of VNIIMI. 2017. N4 (28). 4-9.

8. Tsoi L.M. Research on technical service in animal husbandry. Bulletin of VNIIMI. 2014. N2(14). 94-101.

9. Soloviev S.A., Goryachev S.A. Technical service of machinery and equipment in animal husbandry. Bulletin of VNIIMI. 2016. N2 (22). 49-52.

10. Brusenkov A.V., Kapustin V.P., Sychev E.I. Technical diagnostics of machines and equipment used in animal husbandry. V.I. Vernadsky: sustainable regional development [electronic resource]: proceedings of the international scientific-practical conference 7-9 June 2016., Tambov. Tambov: Tambov state technological university. 2016. Vol. 2. 12-15.

11. Beilis V.M., Cench Yu.S., Korotkina V. M.,Starovoytov, S.I., Kanev N.G. Trends in the development of progressive machine technologies and machinery in agriculture // Bulletin of viesh. 2018. N4(33). P. 150-156.

12. Izmailov A.Iu., Lobachesky I.P., Marchenko O.S., Cench Yu.S. Creation of innovative equipment and resource-saving technologies of feed production – the basis for the development of animal husbandry //Bulletin of the Federal state educational institution of higher professional education Moscow state agro-engineering University. V. P. Goryachkin. 2017. N6(82). C. 23-28

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

УДК 629.3.014.2.017

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОГО РЕМОНТА УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Анатолий Васильевич Дунаев[1], доктор технических наук, главный специалист, e-mail: dunaev135@mail.ru;
Михаил Николаевич Фильков[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Олег Геннадиевич Павлов[2], кандидат биологических наук, член Федерации космонавтики РФ;
Иван Борисович Тришкин[2], доктор технических наук, доцент
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация

Реферат. *Наиболее распространенные порошковые геомодификаторы поверхностей трения для безразборного ремонта узлов трения машин и оборудования состоят в основном из высокодисперсных (5-40 микрометров) порошков минералов группы серпентина. Порошки, выпускаемые у разными производителями, имеют разные триботехнические свойства, что иногда приводит при их применении к аварийному изнашиванию автомобильных двигателей. (Цель исследования) Изучить характеристики порошков геомодификаторов поверхностей трения для безразборного ремонта узлов машин. (Материалы и методы) Применили для определения фазового состава порошков рентгенофазовый анализ пионерных геомодификаторов на рентгеновском дифрактометре XRD 6000 Японской фирмы Shimadzu. Использовали трибометр TRB-S-DE для рассмотрения антифрикционных свойств порошков. Отметили, что для получения оптимальной фракции порошки диспергируют в планетарной мельнице и ультразвуком. (Результаты и обсуждение) Установили по дифрактограммам пионерных геомодификаторов, что порошки соответствуют классическим составам гидросиликатов магния, никеля, алюминия с примесями. Практически не выявлены в испытуемых порошках антигорит, являющийся в РВС-технологиях основным компонентом трибосоставов. Минерал Лизардит представлен только в 6 порошках из 22. Создали ремонтно-восстановительный трибосостав «Сарановский». По результатам рентгенофазового аназлиза, его основой стали частицы минерала лизардита, средний размер частиц – 2,3 микрометра. Определили, что по своим триботехническим свойствам он соответствует мировому уровню. (Выводы) Трибосостав «Сарановский», содержащий основным минералом лизардит1Т, отвечает требованиям к геомодификаторам и их трибтехническим свойствам, то есть создание искусственного ГМТ выполнено. Его можно использовать в безразборном ремонте ДВС, силовых передач. Для гидроприводов его порошок требует выделения фракции до 5 мкм седиментацией крупных частиц и выделения из суспензии мелкой фракции.*

Ключевые слова: *геомодификатор трения, рентгенофазовый состав, гранулометрия, активация, триботехническое покрытие.*

Для цитирования: *Дунаев А.В., Фильков М.Н., Павлов О.Г., Тришкин И.Б. Исследование и обоснование характеристик порошков геомодификаторов для безразборного ремонта узлов трения машин и оборудования // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 112-122.*

RESEARCH AND STUDY THE CHARACTERISTICS OF POWDERS GEOMODIFICATORS FOR CIP REPAIR OF FRICTION UNITS OF MACHINES AND EQUIPMENT

Anatoly V. Dunayev[1], Dr.Sc(Eng.), chief research engineer, e-mail: dunaev135@mail.ru;
Mikhail N. Filkov[1], Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Oleg G. Pavlov[2], Ph.B.(Eng.), federated member of astronautics of the Russian Federation;
Ivan B. Trishkin[2], Dr.Sc(Eng.), associate professor
[1]Federal scientific agroengineering center WEAM, Moscow, Russian Federation
[2]Ryazan state agrotechnological university of P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation

Abstract. *The most common powder geomodifiers of friction surfaces for CIP repair of friction units of machines and equipment consist mainly of highly dispersed (5-40 microns) powders of minerals of the serpentine group. The powders produced at different producers have different tribotechnical properties that sometimes leads at their application to emergency wear of automobile engines. (Purpose of research) To study characteristics of powders of geomodifiers of surfaces of friction for in-place repair of knots of cars. (Materials and methods) Applied to determination of phase composition of powders the X-ray phase analysis of pioneer geomodifiers on the x-ray XRD 6000 diffractometer of the Japanese firm Shimadzu. Used трибометр TRB-S-DE for consideration of antifrictional properties of powders. Noted that for receiving optimum fraction powders disperse in a planetary mill and ultrasound. (Results and discussion) Established on difraktogramma of pioneer geomodifiers that powders correspond to classical compositions of hydrosilicates of magnesium, nickel, aluminum with impurity. Practically are not revealed in examinees powders antigorit, being in RVS-technologies the main component of tribosostav. Lizardit mineral is presented only in 6 powders from 22. Created repair and recovery трибосостав Saranovsky. By results of X-ray-phase structure lizardit mineral particles, the average size of particles – 2.3 micrometers became its basis. Defined that on the tribotechnical properties it corresponds to world level. (Conclusions) Tribosostav Saranovsky containing the main mineral lizardit1t conforms to requirements to geomodifiers and their tribtekhnichesky properties, that is creation of artificial GMT is executed. It can be used in in-place repair of DVS, power transmissions. For hydraulic actuators its powder demands allocation of fraction to 5 microns sedimentation of large particles and allocations from suspension of small fraction.*

Keywords: *geomodifiers friction surface, x-ray phase composition, grain size distribution, activation, friction, tribological coating.*

For citation: *Dunayev A.V., Filkov M.N., Pavlov O.G., Trishkin I.B.Research and study the characteristics of powders geomodificators for cip repair of friction units of machines and equipment. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 112-122.*

Введение. Наиболее распространенные в России с 1990 г., а позже в Финляндии, Японии, Чехии порошковые геомодификаторы поверхностей трения (ГМПТ) или геомодификаторы трения (ГМТ) для безразборного ремонта узлов трения машин и оборудования состоят в основном из высокодисперсных (5-40 мкм) порошков минералов группы серпентина [1].

Порошки ГМТ у разных производителей значительно разнятся, не стабильны сами по себе и по триботехническим свойствам, поэтому в начале их применения были случаи аварийного изнашивания автомобильных ДВС.

Изначально предполагалось использовать три триботехнические разновидности гидросиликатов магния [2, 3]:

- микрочешуйчатый листовой – антигорит;
- хризотил-асбест или хризотил двухслойный листовой, или тонковолокнистый хризотил;
- тонкозернистый – лизардит, а по предложению акад. РАЕН В.В. Зуева лизардит со структурной формулой 1Т [2].

Исследования, проведенные некоторыми организациями и Наноцентром ГОСНИТИ показали, что в порошках модификаторов имеются примеси, серпентины других модификаций, тальк, минералы, не относящиеся к группе серпентина.

Химическая формула основных разновидностей серпентина такова (табл. 1): $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ или $(MgOH)_6(Si_4O_{11})H_20$ или $3(MgO)_4[SiO_2]2H_2O$, где магний может замещаться железом, никелем, алюминием.

Таблица 1

Состав классических минералов группы серпентина

Основные минералы группы серпентина	Формула химсостава	Подтверждение дифрактограммами
Клинохризотил	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	да
Антигорит	$Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$	в одном порошке, только как примесь
Лизардит	$Mg_6(Si_2O_5)_2(OH)_8$	да
Амезит	$Mg_2Al(AlSiO_5)(OH)_4$	нет
Непуит	$Ni_3(Si_2O_5)(OH)_4$	да
Серпентин обобщенно двойной формулой	$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$	да

Основной компонентный состав триботехнических серпентинов: MgO – 43%, SiO_2 – 44, H_2O – 12,1-12,9%. Вода из минералов выделяется при температуре от 300°С с разрушением их кристаллической решетки. Отличаясь структурой, минералы триботехнически работают не одинаково. Однако этим готовые трибосоставы не ограничены, включают ПАВ и примеси, состав которых не раскрывается. А химсостав трибосостава НПТК «СУПРОТЕК» засекречен. Очень трудно выделить нужные минералы в чистом виде в РВС-трибосоставы. Кроме того, гидросиликаты магния имеют вредные примеси из соединений алюминия, кальция, натрия, марганца, серы. Эти обстоятельства и проявляются на дифрактограммах геомодификаторов, в том числе и в исследованных ниже.

Цель исследования – изучить характеристики порошков геомодифика-

торов поверхностей трения для безразборного ремонта узлов машин.

Материалы и методы. Проблемы стабильности фазового состава порошков геомодификаторов. Обеспечение оптимального и стабильного фазового состава порошков очень важно, т.к. наличие примесных частиц повышенной твердости (магнетит, форстерит, кварц с твердостью 5,5-7 ед. по Моосу) вызывает абразивное изнашивание. Проведенный в Наноцентре ГОСНИТИ рентгенофазовый анализ 22 порошков пионерных геомодификаторов на рентгеновском дифрактометре XRD 6000 Японской фирмы Shimadzu показал, что на всех дифрактограммах наблюдался значительный фон вторичных излучений от примесей (табл. 2). Кроме того, интенсивность линий некоторых минералов не соответствует интенсивности библиотечных ICDD значений интенсивностей для индивидуальных веществ (приведены в скобках). Для составов ВИЭСХ (п. 14, 15 табл. 2) идентифицированы по два минерала, поскольку их дифрактограммы невозможно описать одним спектром (рис. 1). А для состава п. 13 – даже 4 минерала.

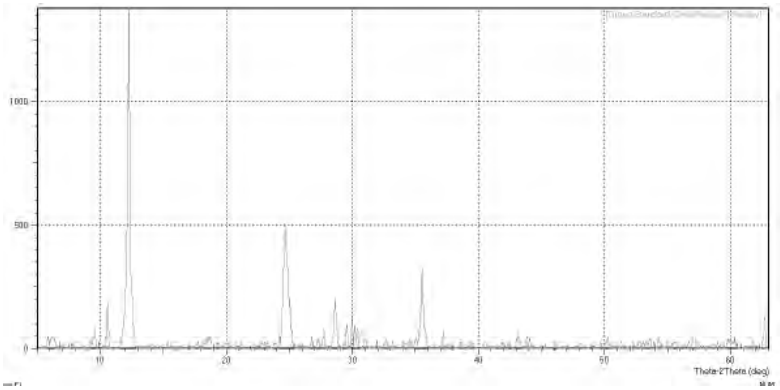


Рис. 1. Дифрактограмма состава ВИЭСХ (п. 14 таблицы 2, идентифицированы два минерала: диккит и хлорит-серпентин)

Большинство порошков являются мономинеральными с небольшими включениями вторичных веществ. Трибосоставы №1 и 3 ООО «Венчур-Н» к.ф.-м.н. В.И. Новикова, входящие в трибосостав АРВК от ИМАШ РАН, близки к тальку, а состав №2 идентифицирован лишь как гидросиликат алюминия. Порошки от к.т.н. М.Н. Филькова и к.т.н. И.В. Наливкина, показавшие на трибометре TRB-S-DE из рассмотренных порошков наилучшие антифрикционные свойства, представляют собой различные смеси гидросиликатов магния, никеля, железа и алюминия.

Наиболее однородным оказался состав «РВД» инж. В.Г. Рыжова (ООО «ТРИГГЕР»). Близким к нему – трибосостав ГОСНИТИ. В геомодификаторах солидных компаний чаще встречается минерал лизардит-1Т, который, по мнению первооткрывателей триботехнических свойств серпентинов д.г.-м.н. В.В. Зуева и к.т.н. Д.М. Телуха, является самым ценным геомодификатором. Для некоторых порошков в разное время испытаний получено некоторое различие дифрактограмм и фазового состава, причина которого пока не понятна. По мнению к.б.н. О.Г. Павлова (ООО «ТК НЕОСФЕРА»), утверждает, что это нормально, поскольку высокодисперсные порошки ГМТ в хранении претерпевают фазовые изменения.

Таблица 2

Результаты анализа дифрактограмм основных пионерных серпентиновых трибосоставов

№	Условное название трибосостава	Характеристика пиков дифрактограмм, выявленные вещества		
		2θ, град	Интенсивность Counts	Химическая формула, название минерала
1	2	3	4	5
1	Новиков В.И	12,34 24,77 29,61	4007 3235 3405	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$; Aluminum Silicate Hydroxid (Dickite-2M1)
2	Новиков В.И (один из двух как тальк)	9,50 28,61 39,53	4241 2718 1596	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$; Magnesium Silicate Hydroxide (Talc-2M)
3	РВД	12,28 24,71 35,64	5371 3491 1036	$(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5(OH)_4$; Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1T)
4	Пустовой И.Ф.-1	12,4103 24,6748 36,1144	502 279 191	$(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$ Nickel Silicate Hydroxide (Nepouite-20)
5	Пустовой И.Ф.-2	12,4018 24,6941 36,0569	162 83 27	$(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ Magnesium Iron Silicate Hydroxide (Lizardite-1M)
6	Пустовой И.Ф.-3	12,2939 24,6768 12,5042	965 483 136	$(Fe,Al,Mg,Mn)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Orthochamosite-10lb)
7	Пустовой И.Ф.- 4	12,1633 24,4093 35,8354	146 79 58	1) $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ Magnesium Iron Silicate Hydroxide (Lizardite-1M) 2) $(Mg,Al)_3((Si,Fe)_2O_5(OH)_4$ Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1T)
8	Павлов О.Г.-1	12,4103 24,6748 36,1144	502 279 191	$(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$ Nickel Silicate Hydroxide (Nepouite-20)
9	Павлов О.Г.-2	12,4018 24,6941 36,0569	162 83 27	$(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$ Magnesium Iron Silicate Hydroxide (Lizardite-1)
10	Павлов О.Г.-3	12,2939 24,6768 35,5781	965 483 108	$(Fe,Al,Mg,Mn)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Orthochamosite-10lb)
11	Павлов О.Г.-4 (без 5-го, анало-гичного 1-му)	12,1633 24,4093 35,8354	146 79 58	$(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5(OH)_4$ Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1T)
12	Фильков М.Н.-1	12,1464 24,3666 35,8172	216 116 49	$(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5(OH)_4$ Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1T)
13	Фильков М.Н - 2	12,19 31,00 24,42 32,67 41,19 35,67 35,96 19,56 36,73 51,09	103 70 68 17 18 14 14 13 13 11	1. $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_{4-4x}$; Magnesium Hydroxid Silicate (Clinochrysotil) 2. $Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5(OH)_4$; Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxid 3. $(Ni,Mg)_3(Si_2O_5)(OH)_4$; Nicel Silicate Hydroxid (Nepouite-20) 4. $Mg_{3-x}(Si_2O_5)(OH)_{4-2x}$; Magnesium Silicate Hydroxide (Antigorite)
14	ВИЭСХ-1	35,6003	39 (80)	(Dickite-2M1)
		10,7004 12,3633 24,7116	22 (32) 166* (100) 60* (70)	2) $(Mg,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Chlorite-serpentine (NR)
15	То же - 2	12,5003 24,7880 60,1843	122* (100) 63* (85) 15 (65)	1) $(Fe,Mg,Al)_{2,5}(Si,Al)_2O_5(OH)_4$ Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide (Odinite-1M)
		12,5003 24,7880 36,2867	122* (100) 63* (59) 14 (29)	2) $(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5(OH)_4$ Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1T) (примесь)
16	То же -3	12,2092 24,4490 36,6564	169 97 24	$(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5)(OH)_4$ Aluminum Iron Magnesium Silicate Hydroxide (Lizardite-1M)
17	Серпентин к.т.н. Наливкина И.В.	12,1928 31,0111 24,4317	104 72 67	$(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)_4$ Nickel Silicate Hydroxide (Nepouite-20)
18	Один из 4-х бемитов из ГОСНИТИ	14,58 28,31 38,46	5445 3907 3361	AlO(OH) Aluminum Oxide Hydroxide (Bohmite syn)

Идентификация компонентов порошков затруднена, так как они пред-

ставляет собой смесь многих веществ, и библиотека спектров ICDD выдает для них до 20 вариантов составов. А при различных попытках идентификации минералов дифрактометр выдает из библиотеки ICDD на один и тот же порошок различающиеся наборы веществ.

Порошки бемита производства ГОСНИТИ, приведенные только для сравнения, однородны по составу (присутствует только бемит) и хорошо закристаллизованы. Они отличаются от геомодификаторов отсутствием какого-либо фона излучений от примесей (рис. 2).

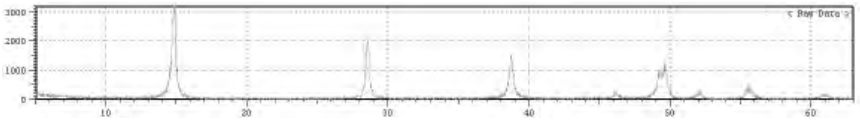


Рис. 2 Дифрактограмма порошка бемита [AlO(OH)] производства ГОСНИТИ

Примечание: видно отсутствие фона примесных излучений от чистого и хорошо закристаллизированного минерала.

Таким образом, идентификация основных минеральных порошков для РВС-технологии показала, что они состоят из гидросиликатов магния с примесями гидросиликатов никеля, железа, алюминия. Порошки по составу являются разнообразными смесями (до 20 компонентов). Для уточнения минерального состава порошков данные рентгенофазового анализа обычно дополняют химическим анализом.

По данным исследований в Наноцентре ГОСНИТИ, среди химических элементов в порошках доминирует Mg, а по убывающей концентрации заметна доля Ni, Fe, Al, Ca. Непонятно присутствие в порошках примесей Ge, Na, Mn, Sr, Zn, Cu, S, U.

Другой анализ 19 порошков спектрографически выполнен в Казанском университете. По его данным, в РВС-составах основным элементом также является магний (37 линий), имеются железо (50 линий), ванадий (14 линий), титан (8 линий), кобальт (8 линий), а редкими примесями являются медь (5 линий), кальций и натрий (по 4 линии), никель, марганец, палладий.

По дифрактограммам пионерных геомодификаторов сделаны следующие выводы:

1. Порошки в основном соответствует классическим составам гидросиликатов магния, никеля, алюминия с примесями (табл. 1, 2), хотя это разнообразные смеси силикатов. По библиотеке спектров ICDD минералы группы серпентина включают также тальк, Orthochamosite-10lb, Odinite-1M, Chlorite-serpentine (NR).

2. В испытанных порошках библиотека ICDD практически не выявила антигорит, являющийся, по данным пионеров РВС-технологии, основным компонентом трибосоставов. Антигорит выявлен лишь как примесь в порошке к.т.н. М.Н. Филькова (п. 13 табл. 2).

3. Все исследованные РВС-порошки по компонентному составу различны. Окислов до 10 металлов и другие соединения. Особенно сложны составы О.Г. Павлова и И.Ф. Пустового (ООО «РИП»). Исключением является состав «РВД», состоящий в основном из минерала лизардит 1Т.

4. Минерал лизардит 1Т, эффективность которого особенно подчеркнута академиком В.В. Зуевым , представлен только в 6 порошках из 22.

5. Порошки бемита и корунда, полученные прокаливанием порошка бе-

мита производства ГОСНИТИ, весьма однородны.

Результаты и обсуждение. Дифрактограммы Наноцентра ГОСНИТИ ремонтно-восстановительных трибосоставов от пионерных производителей подтверждают, что в основном они являются гидросиликатами магния, никеля и алюминия, в некоторых из них имеются примеси железа, марганца и других химэлементов.

Требования к гранулометрическому составу серпентиновых порошков. Минералогический генезис минералов группы серпентина изучен хорошо. Это продукты гидротермального метаморфизма оливина и ортопироксена; имеют слоистую структуру. Поэтому геологическое и механическое их разрушение идет именно по кристаллографической плоскости (002). Но все триботехнические порошки серпентинов являются полидисперсными, содержат две фракции – субмикронную и фракцию с размером частиц 1-110 мкм с высоким содержанием фракции более 5 мкм.

При ультразвуковой обработке содержание грубой фракции меняется незначительно, так как разбить крупные частицы не удается. Обработка в планетарной мельнице за 2 мин приводит к уменьшению минимального размера субмикронных частиц со средним размером от 210 до 370 нм и повышению их содержания на 20%. При активации 4-8 мин количество субмикронной фракции нарастает, однако одновременно идет образование средних и крупных (более 10 мкм) агрегатов.

При ультразвуковом диспергировании более 5 мин самые крупные агрегаты все же разрушаются и существенно растет содержание субмикронной фракции. Средний размер частиц уменьшается, например, с 4,6 мкм до 460 нм, но содержание фракции 5 мкм увеличивается более чем на 25%.

Исследования выявили, что нужен оптимальный режим комплексной обработки в мельницах и ультразвуком, чтобы достичь требуемого измельчения и минимальной агрегации, то есть время измельчения должно составлять 4-8 мин. Интенсивная и продолжительная ультразвуковая обработка в воде вместе с ПАВ почти полностью дезагрегирует даже порошок, обработанный в планетарной мельнице за 14 мин, возможно также существенно уменьшить агрегацию порошка, средний размер частиц уменьшить до 460 нм и довести содержание фракции меньше 5 мкм до 80%.

Измельчением в мельнице МПП-1 за 4 мин можно получить, по данным рентгеноструктурного анализа и метода БЭТ, порошки серпентина со средним размером частиц менее 5 мкм, удельной поверхностью 40 $м^2/г$, средним размером кристаллитов 50-60 нм. Минимальный размер частиц, согласно данным электронной микроскопии, соответствует диаметру отдельных волокон хризотила и составляет около 20 нм. Порошки частично агрегированы.

Таким образом, первичная механическая обработка порошков серпентина за 4 мин приводит к разупорядочению структуры в слоях, параллельных плоскости (002), и уменьшению размеров ОКР хризотила до 50 нм. Но при мехобработке более 4 мин на следующей стадии происходит упорядочение структуры преимущественно в слоях, параллельных плоскости (202) и текстурирование частиц. Следовательно, можно достичь целевого размера частиц измельчением в мельнице МПП-1 и последующей ультразвуковой обработкой водной суспензии.

Также суспензии серпентина можно фильтровать через стандартные масляные, а особенно топливные фильтры, которые задерживают 95% частиц размером более 5 мкм. Такое фильтрование убедит потребителя в высоком

уровне дисперсности порошка и в отсутствии риска применения РВС-составов.

Активация порошков, обеспечение ими катализа в образовании триботехнических покрытий. Считается, что активация частиц порошка идет при ударном и сдвиговом воздействии в измельчении, в ультразвуковой обработке, а в трении – с образованием механоэлектронов.

Высокодиспергированный серпентин с большим числом наночастиц, с развитой поверхностью и с рентгеноаморфной фазой оказывает каталитическое и деструктивное влияние на углеводородную трибосреду, а при ультразвуковом диспергировании частиц серпентина в масле даже образуются жирные кислоты. Такие порошки содействуют эффективному образованию триботехнического покрытия [4, 5]. Однако оно может происходить эффективнее с вводом к ним углеродной сажи.

Проблемы в создании промышленного серпентинового трибосостава. Серпентиниты отличаются друг от друга на порядок по твердости и абразивности. Это очень важно учитывать, так как первым действием частиц трибосоставов при трении поверхностей является именно фаза абразивного истирания.

Испытаниями О.Г. Павлова, И.В. Никитина и других зафиксировано, что в начале возрастают температура и момент трения на машине ИИ 5018, а затем происходит ожидаемый их спад. Баланс между абразивной фазой и дальнейшими процессами наращивания трибопокрытия – есть главное «ноу хау» РВС-технологии.

Следует учитывать, что не химсостав определяет эффективность серпентина, а значительно больше параметров, следовательно, попытка замены синтетическим вариантом обречена на провал. О.Г. Павловым получены первые результаты, как заменить сложное природное образование несколькими синтетическими веществами, но дальнейшее развитие эти идеи не получили.

В проблеме создания промышленного трибосостава важен правильный выбор сырья, его сочетания. Препятствиями к успеху РВС-технологии могут быть неправильное измельчение неправильный выбор методики трибообработки узлов, агрегатов.

Углерод (алмаз, графит и т.п.), его соединения с металлами, оксиды и гидроксиды металлов являются самыми прочными и эластичными структурами, поэтому в серпентиновом покрытии имеются C, CO, CO_2, O_2, Fe_3C, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeOOH [5]. Серпентиновое трибопокрытие эластично и прочно именно потому, что содержит в разных соединениях высокое содержание углерода, окислов и гидроокислов железа..

Часть изложенных проблем решили в Наноцентре ГОСНИТИ на примере создания трибосостава «Сарановский». Использованы продукты флотации ОАО «Шахта Сарановская» Пермской обл., состоящие в основном из минерала лизардитового бастита по ортопироксену и аппооливинового лизардита ($Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$). В их переработке использовали электрошкаф СНОЛ (до 350°С); виброгрохот «Analizzete 3Pro» (сита 20, 25, 32, 40 и 100 мкм); шаровую планетарную мельницу «АКТИВАТОР 2SL» (порошок 70 г, три типоразмера стальных шаров 350 г; длительность измельчения 5 и 10 мин); программный металлографический микроскоп «OLIMPUS GX 51»; рентгеновский дифрактометр «XRD 6000» с библиотекой спектров ICDD; трибометр «TRB-S-DE» со стальной трибопарой «палец-диск» в масле М-10$Г_2$К в режиме ступенчатого нагружения до давления 218 МПа, скоро-

сти скольжения 100 см/с, пути трения по 1500 м. Исходный порошок на сите 1 мм был очищен при 105°С высушен, фракционирован на крупном сите 100 мкм, подвергнут измельчению и повторному фракционированию на сите 40 мкм. Вид порошков приведен на рисунке 3.

Рис. 3. Фракционирование порошков на виброгрохоте «Analizette-3Pro»; порошок слева исходный, в центре – обработанный, он стал светлее, справа порошок «ИКСАР», в пробирках трибосоставы «Сарановский», РВД, в баночках – порошки ГМТ из Грузии

По данным рентгенофазового анализа, порошок представляет собой частицы минерала лизардита – основной триботехнической составляющий серпентина. Цвет порошка после измельчения серо-желтый, но стал еще светлее.

По микроскопии получено: средний размер частиц – 2,3 мкм, большая часть – 1-5 мкм, а редкие агломераты до 40 мкм. Так как в 30-летней практике и в ТУ на ГМТ оптимальным размер частиц 1-25 мкм, то ГМТ «Сарановский» по фракционному составу удовлетворителен.

Ранее считалось, что соединения хрома в ГМТ вредны. Поэтому порошки до и после измельчения были подвергали дифрактометрии (рис. 4). Дифрактометрией в ГМТ «Сарановский» по ICDD соединения хрома выявлены, но имеются:

- $(Mg,Al)_3(Si,Fe)_2O_5$ – Aluminum IronMagnesium Si Lisardite-1T – основной минерал группы серпентина;
- $Ni_3Si_2O_5(OH)_4$ – Nickel Silicate Hydroxide Pecoratite-2Mc1 – вторичный минерал группы серпентина, как примесь;
- $Ni_5Al_4O_{11}\cdot 18H_2O$ – Nickel Aluminum Oxide Hydroxide – другая примесь.

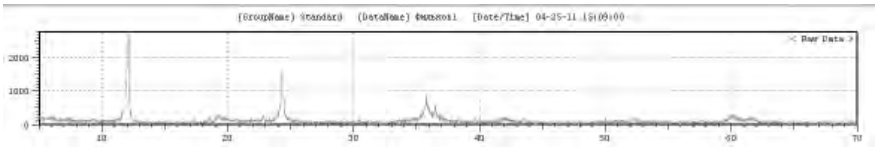


Рис. 4. Дифрактограмма порошка ГМТ «Сарановский» Наноцентра ГОСНИТИ (идентифицирован минерал лизардит 1Т)

Следует отметить, что параллельно исследованный ГМТ от ООО «СТАНРУС» для «Wl-технологии» представляет собой смесь более 12 минералов, из которых 2 не относятся к минералам группы серпентина, 6 представлены алюминиевыми гидросиликатами, есть гидросиликат железа и гидроси-

ликат смешанного состава (железа, магния и алюминия), и лишь один – гидросиликат магния: $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ – Magnesium Silicate Hydroxide (Clinochrysotil). Данные сравнительных испытаний трибосоставов приведены на рисунке 5.

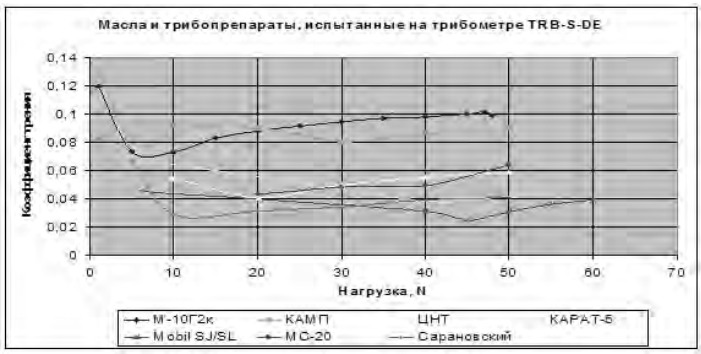


Рис. 5. Коэффициенты трения стальной трибопары «палец-диск» в масле Мобил API SJ/SL SAE 05W-30, в масле М-10Г2К (ЗАО Роснефть) и с введенными в нем трибосоставами: профилактический КАМП (ООО «Автостанкопром»), серпентиновые ЦНТ (ООО «ЦНТ»), МС-20 (ГОСНИТИ и ООО «РИП»), «Сарановский» (ГОСНИТИ и ВИЭСХ), и наноалмазный КАРАТ-5 (ООО «РеалДзержинск» и Красноярский ИХХТ)

Испытания показали высокую нагрузочную и антифрикционную эффективность масла фирмы Мобил, по-видимому, одного из лучших мировых, совпадение антифрикционных свойств составов ЦНТ (ООО «ЦНТ») и МС-20 (ГОСНИТИ и ООО «РИП»), предположительно аналогичных по сырью и технологии приготовления.

Хорошие антифрикционные свойства подтвердили наноалмазные составы (КАРАТ-М и КАРАТ-5, ООО «РеалДзержинск» и Красноярский НИИ химии и химической технологии). А ГМТ «Сарановский» (ГОСНИТИ, ВИЭСХ) признан лучшим из серпентиновых и приближает моторное масло М-10Г2К среднего качества, класса СС по API, к высшим трибосвойствам масла Мобил.

Выводы. Трибосостав «Сарановский», содержащий основным минералом лизардит1Т, соответствует требованиям к геомодификаторам и их трибтехническим свойствам, то есть создание искусственного ГМТ выполнено. Его можно использовать в безразборном ремонте ДВС, силовых передач. Для гидроприводов его порошок требует выделения фракции до 5 мкм седиментацией крупных частиц и выделения из суспензии мелкой фракции.

Библиографический список

1. Дунаев А.В. Нетрадиционная триботехника. Некоторые итоги развития в России: монография. Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing in animprint of SIAOmniScriptum Publishing. 2018. 217 с.

2. Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты). С.-Пб: Наука. 2005. 400 с.

3. Телух Д.М., Кузьмин В.П., Усачев В.В. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях // Трение, износ, смазка.

2009. N3. C. 13-17.

4. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Пономаренко А.Г., Чигаренко Г.Г., Бойко М.В. Структура смазочных слоев, формируемых при трении в присутствии присадок минеральных модификаторов трения // Трение и износ. 2009. Т. 30. N5. С. 516-521.

5. Yuansheng J., Shenghua L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of Mg6Si4O10(OH)8. Superlubricity. Edited by Ali Erdemir Argonne National Laboratory. Argonne, USA and Jean-Michel Martin Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France. 2007. 445-469.

References

1. Dunaev A.V. Non-traditional tribology. Some results of development in Russia. Monograph. Lambert Academic Publishing in animprint of SIAOmniScriptum Publishing. 2018. 217.

2. Zuev V.V. Constitution, properties of minerals and structure of the earth (energy aspects). St.-Petersburg: Nauka. 2005. 400.

3. Teluh D.M., Kuzmin V.P., Usachev V.V. Introduction to the issue of the use of natural layered hydrosilicates in friction units. Friction, wear, lubrication. 2009. N3. 13-17.

4. Lyubimov D.N., Dolgopolov K.N., Ponomarenko A.G., Chigarenko G.G., Boyko M.V. Structure of lubricating layers formed during friction in the presence of additives of mineral friction modifiers. Friction and wear. 2009. Vol. 30. N5. C. 516-521.

5. Yuansheng J., Shenghua L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of Mg6Si4O10(OH)8. Superlubricity. Edited by Ali Erdemir. Argonne National Laboratory. Argonne, USA; and Jean-Michel Martin. Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France. 2007. 445-469.

УДК 621.314.2

ОПТИМИЗАЦИЯ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОММУТИРУЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ ТИРИСТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Хамитьян Салимьянович Кутулбаев, магистрант,
e-mail: lenovo12354@yandex.ru
Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Республика Башкортостан

Реферат. *Высокочастотная закалка деталей сельскохозяйственного машиностроения – энергозатратная технология. Поиск энергоэффективных источников питания для реализации процессов закалки служит необходимым условием экономии эксплуатационных затрат и снижения себестоимости продукции. (Цель исследования) Оптимизировать параметры коммутирующего дросселя для резонансных последовательных инверторов (РПИ). (Материалы и методы) Методом исследования стала однокритериальная оптимизация параметров коммутирующего дросселя по величине потерь в обмотке. Предложили алгоритм оптимизационного проектирования коммутирующего дросселя без сердечника, выполненного в виде многослойной обмотки из профилированного трубчатого проводника. Использовали для изготовления обмотки медные профилированные трубы размером 10х10, 12х12 миллиметров и толщиной стенки 1,0-1,2 миллиметров. Отметили, что коммутирующий дроссель представляет собой цилиндрическую катушку с прямоугольным поперечным сечением из медного трубчатого проводника с принудительным жидкостным охлаждением. (Результаты и обсуждение) исследования: ВыполненаПроизвели расчеты по определению количества витков обмотки, величины индуктивности, величины потерь в обмотке. Определили по результатам оптимизации основные параметры дросселя с учетом результатов тиристорного источника питания. (Выводы) Минимум потерь в обмотке дросселя достигается при значении коэффициента индуктивности KL =0,58.*

Ключевые слова: *коммутирующий дроссель, оптимизация параметров, потери в обмотке, резонансный последовательный инвертор, тиристорный источник питания, высокочастотная закалка деталей.*

Для цитирования: *Кутулбаев Х.С. Оптимизация и выбор параметров коммутирующего дросселя тиристорного источника питания для высокочастотной закалки деталей сельскохозяйственного машиностроения // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 123-129.*

OPTIMIZATION AND SELECTION OF PARAMETERS OF THE COMMUTATING CHOKE THYRISTOR POWER SOURCE FOR HIGH FREQUENCY INDUCTION HARDENING OF PARTS AGRICULTURAL ENGINEERING

Hamityan S. Kutlubaev, undergraduate, e-mail: lenovo12354@yandex.ru
Bashkir state agricultural university, Ufa, Republic of Bashkortostan

Abstract. *High-frequency hardening of agricultural machinery parts is an energy-consuming technology. The search for energy-efficient power sources for the implementation of hardening processes is a necessary condition for saving operating costs and reducing the cost of production. (Purpose of research) Is to Optimize parameters of the switching throttle for the resonant consecutive inverters. (Materials and methods) Method of a research there was a one-criteria optimization of parameters of the switching throttle in size of losses in a winding. Offered an algorithm of optimizing design of the switching throttle without core executed in the form of a multilayered winding from the pro-thinned-out tubular conductor. For the manufacture of windings using copper profiled tubes size 10x10, 12x12 mm and a wall thickness of 1.0-1.2 mm. Switching throttle is a cylindrical coil with a rectangular cross section of copper tubular conductor with forced liquid cooling. (Results and discussion) Vypolnenaproizveli calculations for determination of quantity of rounds of a winding, size of inductance, size of losses in a winding. Determined by results of optimization key parameters of a throttle taking into account results of the thyristor power supply. (Conclusions) Minimum loss in the winding of the choke is achieved when the value of the inductance factor KL =0,58.*

Keywords: *commutating choke, optimization of parameters, loss in the winding, serial resonant inverter, thyristor power source, high frequency induction hardening of parts.*

For citation : *Kutulbayev H.S. Optimization and selection of parameters of the commutating choke thyristor power source for high frequency induction hardening of parts agricultural engineering. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 123-129.*

Введение. Вопросы энергосбережения становятся с каждым годом все более актуальными для предприятий. Эта проблема особенно важна для энергоемких электротехнологических процессов, например, связанных с высокочастотной закалкой деталей сельскохозяйственного машиностроения. Поэтому использование энергоэффективных источников питания для реализации этих процессов становится необходимым условием экономии эксплуатационных затрат и снижения себестоимости продукции [1]. В резонансных последовательных инверторах (РПИ) тиристорных источников питания различной структуры широко применяют коммутирующие дроссели без сердечника, представляющие собой цилиндрическую обмотку, выполненную из медного трубчатого проводника с принудительным жидкостным охлаждением [2, 3].

Цель исследования – оптимизировать параметры коммутирующего дросселя, который является важнейшим функциональным звеном резонансных последовательных инверторов (РПИ).

Коммутирующий дроссель (КД) с последовательно соединенным коммутирующим конденсатором образуют цепь коммутации, формирующую ко-

лебательное изменение во времени тока тиристоров инвертора [4, 5].

Задачей исследования стал технически обоснованный выбор параметров коммутирующего дросселя для РПИ тиристорного источника питания ППЧ-10-160.

Материалы и методы. Методом исследования является однокритериальная оптимизация параметров коммутирующего дросселя по величине потерь в обмотке.

Предложен алгоритм оптимизационного проектирования КД без сердечника, выполненного в виде многослойной обмотки из профилированного трубчатого проводника [6].

Для изготовления обмотки на практике обычно используют медную трубку квадратного сечения с наружными размерами 10х10, 12х12 мм и толщиной стенки 1,0-1,2 мм. Но медные трубы таких размеров отсутствуют в сортаменте промышленно выпускаемых по ГОСТ 16774-2015 «Трубы медные прямоугольного и квадратного сечений». Поэтому трубы с требуемыми размерами получают профилированием медных труб круглого сечения, выпускаемых по ГОСТ 617-2006 «Трубы медные и латунные круглого сечения общего назначения». Профилирование трубы представляет собой дополнительную технологическую операцию, увеличивающую стоимость обмотки. Использование профилированной трубы оправдано при выполнении многослойной обмотки, которая имеет достаточно большую величину индуктивности. В этом случае обмотка получается более компактной.

Если расчетная величина индуктивности КД невелика и для ее реализации достаточно выполнение однослойной обмотки, то алгоритм оптимизационного проектирования можно значительно упростить [6].

Кроме того, в указанном алгоритме выполняют оптимизацию конструкции КД по двум критериям – минимальной массе активных материалов, то есть меди обмотки, и минимальной величине потерь в обмотке. Поскольку электротехнологическая установка для высокочастотной закалки деталей сельскохозяйственного машиностроения является стационарной, первостепенное значение имеет минимизация величины потерь в обмотке. Поэтому в алгоритме оптимизационного проектирования КД вполне достаточно выполнение однокритериальной оптимизации по величине потерь в обмотке.

Результаты и обсуждение. Конструктивно коммутирующий дроссель представляет собой цилиндрическую катушку с прямоугольным поперечным сечением, выполненную из медного трубчатого проводника с принудительным жидкостным охлаждением. Сравнительно высокие массогабаритные показатели, технологичность изготовления, простота крепления послужили причиной выбора конструкции КД без сердечника для использования в РПИ ППЧ-10-160. Таким образом, в настоящей работе представлен упрощенный алгоритм оптимизационного проектирования КД без сердечника по величине потерь в обмотке.

В качестве базового размера для данной конструкции принят средний диаметр обмотки КД – $D_{ср}$.

Введем следующие обозначения [6]:

$$\alpha = H_o / D_{ср}, \quad (1)$$

$$\beta = A_o / D_{ср}, \quad (2)$$

где α, β – безразмерные параметры геометрии обмотки дросселя;

H_o – высота обмотки КД, м;

A_o – радиальный размер обмотки КД, м.

Величину индуктивности КД принятой конструкции определяют выражением [6]:

$$L_k = \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{cp}^2}{4 \cdot H_o} \cdot K_L \text{, Гн,} \quad (3)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, μ_0 = 1,257·10-6 Гн·м;

N – количество витков обмотки;

K_L – коэффициент индуктивности, определяется выражением:

$$K_L = \frac{(1-\beta/3)^2}{1+0{,}45/\alpha} \cdot \quad (4)$$

Количество витков обмотки

$$N = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot D_{cp}^2 \cdot K_o}{S_n}, \quad (5)$$

где K_o – коэффициент заполнения обмотки, зависит от типа обмотки и определяется по рекомендациям [7], принимаем K_o = 0,64;

S_n – сечение трубчатого проводника обмотки, м^2.

Требуемую величину индуктивности Lk определяют в результате электромагнитного расчета инвертора ППЧ-10-160, она и составляет 9,5 мкГн.

Подставим (4) и (5) в (3):

$$L_k = \frac{\pi \cdot \mu_0}{36} \cdot \frac{K_o^2 \cdot \alpha^2 \cdot \beta^2 \cdot (1-\beta)^2 \cdot D_{cp}^5}{S_n^2 \cdot (\alpha + 0{,}45)} \text{, Гн.} \quad (6)$$

Решая уравнение (6) при варьировании величин α и β в технически обоснованных пределах, определяем величину базового размера D_{cp} для каждого варианта сочетания переменных параметров:

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[5]{\frac{36 L_k \cdot S_{\text{п}}^2 \cdot (\alpha + 0{,}45)}{\pi \cdot \mu_0 \cdot K_o^2 \cdot \alpha^2 \cdot \beta^2 (1-\beta)^2}} \text{, м.} \quad (7)$$

Величина потерь в активном материале обмотки КД при протекании переменного несинусоидального тока повышенной частоты [7] составит:

$$P_o = I_k^2 \cdot R_{\sim}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где I_k^2 – величина действующего значения переменного тока дросселя для принятой эквивалентной синусоиды, A;

$R\sim$ – величина сопротивления трубчатого проводника обмотки при протекании переменного тока повышенной частоты, Ом.

$$R = \rho_t \frac{l_{\text{п}}}{S_{\text{па}}} \text{, Ом} \quad (9)$$

где ρ_t – удельное электрическое сопротивление проводника при рабочей температуре обмотки $t = 70^oC$, Ом·м;

$$\rho_t = \rho_{20}\left[1 + \alpha_t (t - 20^o)\right], \text{ Ом·м,} \quad (10)$$

где l_n – длина трубчатого проводника обмотки с учетом длины выводов, м;

S_{na} – площадь активного сечения трубчатого проводника обмотки с учетом добавочных потерь, м^2. В расчетах по формуле (10) приняты: удельное электрическое сопротивление проводника при температуре $20^oC = 0{,}0185 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; температурный коэффициент увеличения сопротивления $\alpha_t = 0{,}0043$.

Добавочные потери в обмотке КД обусловлены проявлениями поверх-

ностного эффекта, вызывающими неравномерное распределение тока по сечению проводника обмотки.

Определим глубину проникновения тока в стенку медной трубки [7]:

$$\Delta = 6{,}6/\sqrt{f}\,, \tag{11}$$

где f – частота тока, $f = 10000$ Гц.

$$\Delta = 6{,}6\sqrt{10000} = 0{,}066\ см = 0{,}7\ мм.$$

Принимаем толщину стенки трубки α = 1 мм.

Площадь активного сечения трубчатого проводника с учетом глубины проникновения:

$$S_{па} = \pi \cdot d_{пср} \cdot \Delta,\ \text{мм}^2\,, \tag{12}$$

где $d_{пср}$ – средний диаметр сечения трубчатого проводника, мм.

Площадь активного сечения трубчатого проводника может быть также определена по выражению:

$$S_{па} = \frac{I_к}{J_к}\,, \tag{13}$$

где $I_к$ – величина действующего значения тока коммутирующего дросселя, по результатам электромагнитного расчета инвертора ППЧ-10-160 $I_к = 218{,}7\ А$;

$J_к$ – величина плотности тока в трубчатом проводнике, $А/мм^2$.

Для принудительного жидкостного охлаждения принимаем $J_к = 10\ А/мм^2$.

Приравнивая выражения (12) и (13), определим $d_{пср}$:

$$d_{пср} = \frac{I_к}{J_к \cdot \pi \cdot \Delta} = \frac{218{,}7}{10 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}7} = 9{,}94\ \ мм.$$

Наружный диаметр сечения трубчатого проводника:

$$d_{пн} = d_{пср} + \frac{2\Delta}{2} = 9{,}94 + 0{,}7 = 10{,}64\ мм.$$

Ближайший стандартный наружный диаметр трубчатого проводника $d_{пн}$ = 12 мм.

Уточняем площадь активного сечения трубчатого проводника по (12):

$$d_{пср} = d_{пн} - \frac{2\Delta}{2} = 12 - 0{,}7 = 11{,}3\ мм;$$

$S_{па}$ = 3,14·11,3 = 24,8 мм^2.

Поскольку обмотка КД выполняется однослойной из медного трубчатого проводника определенного сечения, величину радиального размера обмотки Ао определяем выражением:

$$A_о = D_{пи} \cdot K_1\,,\ \text{м}\,, \tag{14}$$

где K_1 – коэффициент увеличения размера обмотки в радиальном направлении, определяется технологией изготовления обмотки, принимаем K_1 =1,08 [7];

$D_{пи}$ – наружный диаметр медного трубчатого проводника с учетом толщины изоляции, $D_{пи}$ = 13,5 мм = 0,0135 м.

$A_о$ = 0,0135 ·1,08 = 0,014 м.

Отсюда величина β определяется из (2), и в выражении (7) необходимо варьировать только параметр α.

Одновременно для каждого значения α определяют основные параметры

обмотки: N, $D_{ср}$ и $H_о$. При этом для каждого сочетания параметров вычисляют величину потерь в обмотке КД по выражению (8).

В результате оптимизационного проектирования определены основные параметры КД для РПИ тиристорного источника питания ППЧ-10-160:

L_k = 9,5·0-6 Гн; N = 8; $D_{ср}$ = 0,112 м; $A_о$ = 0,014 м; $H_о$ = 0,12 м.

Минимум потерь в обмотке соответствует величине коэффициента индуктивности KL =0,58.

Выводы:

1. Выполнена оптимизация параметров коммутирующего дросселя тиристорного источника питания по критерию минимальных потерь в обмотке.

2. Произведен рациональный выбор параметров дросселя с учетом результатов оптимизации.

Минимум потерь в обмотке дросселя достигается при значении коэффициента индуктивности K_L = 0,58.

Библиографический список

1. Аипов Р.С., Белкин А.К., Мухортова Е.И. Основы силовой преобразовательной техники. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2015. 80 с.

2. Рогинская Л.Э., Шуляк А.А., Белкин А.К., Мухортова Е.И. Выбор структуры тиристорно-индукционного комплекса с согласованными напряжениями инвертора и нагрузки // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2015. Т. 11. N2. С. 16-23.

3. Белкин А.К., Мухортова Е.И., Шуляк А.А. Общие вопросы регулирования мощности в тиристорных преобразователях частоты // Электрификация сельского хозяйства: межвузовский научный сборник. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2002. С. 94-97.

4. Белкин А.К., Мухортова Е.И., Рогинская Л.Э., Эбингер В.В. Частотное регулирование параметров тиристорных преобразователей частоты: материалы всероссийской научно-практической конференции в рамках XV Российского энергетического форума // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2015. С. 19-25.

5. Рогинская Л.Э. Анализ электромагнитных процессов в источнике питания для индукционной закалки деталей сельскохозяйственного машиностроения // Электрификация сельского хозяйства: межвузовский научный сборник. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2000. С. 160-166.

6. Мухортова Е.И. Разработка резонансных полупроводниковых преобразователей частоты: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.09.12; защищена 27.10.1989; утв. 21.02.1990. Горький. 1989. 228 с.

7. Мухортова Е.И., Белкин А.К., Шуляк А.А. Пассивные элементы электрических цепейНефтекамск: Нефтекамский Дом печати. 2012. 359 с.

References

1. Aipov R.S., Belkin A.K., Mukhortova E.I. Fundamentals of power Converter technology. Ufa: Bashkir Agrarian State University. 2015. 80.

2. Roginskaya L.E., Shulyak A.A., Belkin A.K., Mukhortova E.I. The choice of structure tirestore-induction complex with agreed voltage of inverter and load. Electrical and data processing facilities and systems. Ufa State University of economics and service. 2015. N2. Vol. 11. 16-23.

3. Belkin A.K., Mukhortova E.I., Shulyak A.A. General issues of power control in

thyristor frequency converters. Electrification of agriculture: interuniversity scientific collection. Ufa: Bashkir Agrarian State University. 2002. 94-97.

4. Belkin A.K., Mukhortova E.I., Roginskaya L.E., Ebinger V.V. Frequency regulation of the parameters of thyristor frequency converters: materials of all-Russian scientific-practical conference in the framework of the XV Russian energy forum. Actual problems of energy supply of enterprises. Ufa: Bashkir Agrarian State University. 2015. 19-25.

5. Roginskaja L.Je. Analysis of electromagnetic processes in the power source for induction hardening of parts of agricultural machinery. Electrification of agriculture: interuniversity scientific collection. Ufa: Bashkir Agrarian State University. 2000. 160-166.

6. Mukhortova E.I. The development of resonant solid state frequency converters: dis. on competition of a scientific degree Cand. tech. Sciences; 05.09.12; protected 27.10.1989; it is approved 21.02.1990. Gorky. 1989. 228.

7. Mukhortova E.I., Belkin A.K., Shulyak A.A. Passive elements of electric circuits. Neftekamsk: GUP Neftekamsk printing House. 2012. 359.

:

УДК 637.5.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО РАЗМЕРА НОЖЕЙ МЯСОИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПО ОПТИМАЛЬНОМУ СРОКУ СЛУЖБЫ

Валерий Александрович Полуян, кандидат технических наук, доценте-mail: PolyanV@rambler.ru;
Сергей Сергеевич Макаров, магистрант
Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Зерноград, Ростовская обл., Российская Федерация

Реферат. *При оценке работоспособности режущего инструмента сельхозмашин основным критерием служит качество измельчения. (Цель исследования) Определение предельной толщины лезвия ножей мясоизмельчительных машин. (Материалы и методы Определили предельную толщину лезвия ножей волчка с помощью метода, разработанного А.И. Селивановым. Отметили, что сущность метода заключается в учете затрат разовых и прогрессирующих в связи со старением машин. Выявили, что при затуплении лезвия ножей мясоизмельчительных машин происходит увеличение потерь, и как следствие возрастают прогрессирующие затраты. (Результаты и обсуждение) Выполнили расчеты по определению предельной толщины лезвия ножей, которая оказалась равна 0,35 миллиметров. Данное значение толщины лезвия подтверждено результатами статистической обработки данных по износу ножей в производственных условиях. (Выводы) Использование методики А.И. Селиванова для определения толщины лезвия ножей по прогрессирующим затратам, дает точное и убедительное доказательство обоснования предельных параметров ножей в зависимости от качества фарша.*

Ключевые слова: *мясоизмельчительные машины, предельная толщина лезвия ножа, качество измельчения.*

Для цитирования: *Полуян В.А., Макаров С.С. Определение предельного размера ножей мясоизмельчительных машин по оптимальному сроку службы // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 130-134.*

DETERMINATION OF THE EXTREME SIZE OF KNIVES OF MYASOIZMELCHITELNY CARS ON OPTIMUM SERVICE LIFE

Valery A. Poluyan, Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: PolyanV@rambler.ru;
Sergey S. Makarov, undergraduate
Azovo-Chernomorsky engineering institute – branch of the Don state agricultural university, Zernograd, the Rostov Region, the Russian Federation

Abstract. *When assessing the performance of the cutting tool of agricultural machines, the main criterion is the quality of grinding. (Purpose of research) Determination of extreme thickness of an edge of knives the myasoizmelchitelnykh of cars. (Materials and methods) Determined the extreme thickness of an edge of*

knives of a top by the method developed by A.I. Selivanov. Noted that the essence of a method consists in accounting of expenses of the single and progressing in connection with aging cars. Revealed that at a zatupleniye of an edge of knives the myasoizmelchitelnykh of cars occurs increase in losses, and the progressing expenses as a result increase. (Results and discussion) Executed calculations for determination of extreme thickness of an edge of knives which was equal 0.35 millimeters. This value of thickness of an edge is confirmed with results of statistical data processing on wear of knives under production conditions. (Conclusions) Use of a technique of A.I. Selivanov for determination of thickness of an edge of knives on the progressing expenses, gives the exact and convincing proof of justification of extreme parameters of knives depending on quality of forcemeat.

Keywords: *myasoizmelchitelny cars, extreme thickness of a knife blade, quality of crushing.*

For citation: *Poluyan V.A., Makarov S.S. Determination of the extreme size of knives myasoizmelchitelnykh cars on optimum service life. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 130-134.*

Введение. При определении работоспособности режущего инструмента сельскохозяйственных машин основным критерием оценки служит качество измельчения. На эффективность работы мясоизмельчительных машин, кроме остроты лезвия, влияют многие факторы: физико-механические свойства мяса, угол заточки ножей, состояние решеток, частота вращения режущего механизма и другие. Многообразие вышеуказанных факторов затрудняет выбор предельной толщины лезвия ножей. Также необходимо учитывать, что полученные зависимости качества фарша и потери мясного сока от толщины лезвия носят плавный характер без экстремальных перегибов, на основании которых можно было бы судить более определенно о предельной толщине лезвия ножа.

Цель исследования – определение предельной толщины лезвия ножей мясоизмельчительных машин.

Материалы и методы. Предельную толщину лезвия ножей волчка мы попытались найти с помощью метода определения оптимального срока службы машин и рабочих органов, разработанного А.И. Селивановым [1]. Сущность метода заключается в том, что потребитель, использующий машину или ее элементы в течение полного их срока службы несет определенные затраты, которые могут быть разовыми (приобретение машины $y_1=A$), пропорциональными времени использования (хранение, топливо, рабочая сила $y_2=B\,t$) и прогрессир ующими y_3. Это положение не противоречит тому, что одновременно с интенсивностью нарастания качественных или количественных изменений в работе машины соответственно изменяются и экономические показатели ее работы. Если, например, при износе ножей ухудшается качество измельчения мяса и потери сока фарша растут, следовательно, ухудшаются условия приготовления колбасных и других изделий, где применяется мясной фарш, и в результате нарушается экономика мясоперерабатывающего производства [2]. Если принять допустимым качество приготовления фарша, когда мясо не режется, а мнется и фарш выдавливается через горловину, происходят интенсивные потери мясного сока (рис. 1), то толщину режущей кромки 0,35-0,37 мм можно считать предельной.

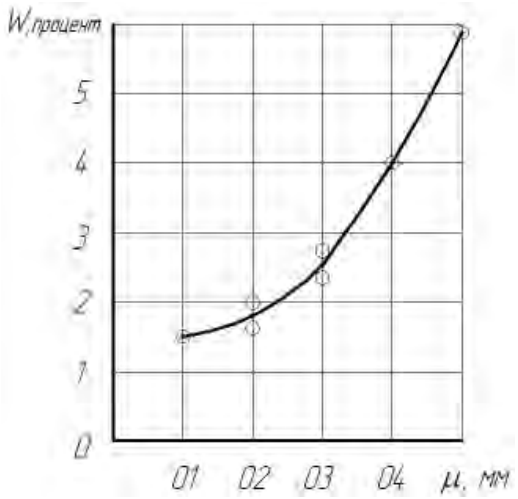


Рис. 1. Зависимость потери мясного сока от толщины лезвия (μ)

Однако такой подход к определению предельной толщины не является достаточно обоснованным и правильным ввиду отсутствия единых стандартов на качество приготовления фарша в зависимости от его назначения.

Таким образом, согласно методике А.И.Селиванова следует принять, что по мере затупления лезвия ножей мясоизмельчительных машин происходит увеличение потерь мясного сока, которые оказывают влияние на рост прогрессирующих затрат на единицу измельченной массы.

Результаты и обсуждение. Для определения предельной толщины лезвия, при которой в данных условиях ножи должны быть подвергнуты очередной заточке, используем формулу 1, предложенную А.И.Селивановым:

$$t = \sqrt[\gamma]{\frac{A}{(\gamma - 1)C}}, \qquad (1)$$

где γ – показатель интенсивности нарастания прогрессирующих затрат;

t – оптимальный срок службы машины;

A – затраты на приобретение машины;

C – коэффициент, определяющий исходную норму прогрессирующих затрат по мере старения машины.

В нашем случае буквенные обозначения заменим на следующие:

t – предельная толщина лезвия;

A – стоимость очередной заточки ножей;

C – коэффициент, определяющий исходную норму прогрессирующих затрат, обусловленных затуплением лезвия.

Порядок определения величин, входящих в функцию (1), представлен на примере определения предельной толщины лезвия ножей волчков при измельчении говядины. Для этого воспользуемся зависимостью изменения влагоемкости мяса от толщины лезвия (рис. 1) и функцией суммарных затрат:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = A + B \cdot t + C \cdot t^{\gamma}. \qquad (2)$$

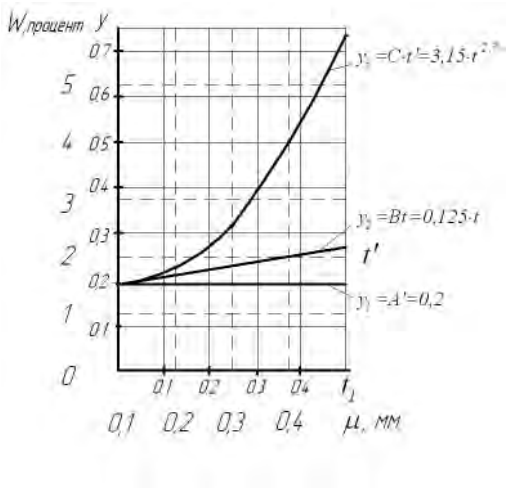


Рис. 2. График обоснования предельной толщины кромки (μ) лезвия ножа по потере мясного сока

При $t = 0$, первая составляющая суммарных затрат $y = A$ на рисунке 2 это соответствует $A = 0,2$.

Для определения В строим касательную в точку О и определяем из соотношения $B = tg\ y_2$, поэтому $y_2 = Bt = 0,125t$.

Для определения третьего члена уравнения (2) необходимо найти степенную функцию типа $y_3 = Ct^{\gamma}$. Примем за ось абсцисс касательную $O - t'$, находим значение y_3 (рис. 2).

Логарифмируя степенную функцию $y_3 = Ct^{\gamma}$ и применяя способ наименьших квадратов, получаем систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \sum \lg t \cdot \lg y_3 - \gamma \sum (\lg t)^2 - \lg C \sum \lg t = 0 \\ \sum \lg t - \gamma \sum \lg t - \lg C \cdot S = 0 \end{cases}, \qquad (3)$$

где S – число опытов.

Решив систему относительно γ, получим:

$$\gamma = \frac{S \cdot \sum \lg t \cdot \lg y_3 - \sum \lg y_3 \cdot \sum \lg t}{S \cdot \sum (\lg t)^2 - \left(\sum \lg t\right)^2} = \frac{5 \cdot 3,9827 - (-5,3968) \cdot (-2,9208)}{5 \cdot 2,0113 - (-2,9208)^2} =$$

$$= \frac{19,9137 - 15,7630}{10,0565 - 8,5311} = \frac{4,1505}{1,5254} = 2,7$$

Подставляя значения γ во второе уравнение системы и решая его относительно C, получим:

$$\lg C = \frac{\sum \lg y_3 \quad \gamma \sum \lg t}{S} = \frac{5,3968 \quad (2,7 \quad 2,9208)}{5} = \frac{5,3968 \quad (\quad 7,8862)}{5} =$$

$$= \frac{5,3968 + 7,8862}{5} = \frac{2,4894}{5} = 0,4979 \qquad \lg C = 0,4979$$

откуда $C=3,15$

Следовательно, третьим членом уравнения суммарных затрат для рассматриваемого примера будет:

$$y_3 = 3{,}15 \cdot t^{2,7} \quad (4)$$

Полная эмпирическая формула суммарных затрат для рассматриваемого примера составит:

$$y = 0{,}2 + 0{,}125 \cdot t + 3{,}15 \cdot t^{2,7} \cdot \quad (5)$$

Используя формулу (1), получим:

$$t = \sqrt[2,7]{\frac{0{,}2}{(2{,}7-1)\cdot 3{,}15}} = \sqrt[2,7]{0{,}038} = 0{,}298 \approx 0{,}3$$

На оси $O-\mu$ (рис. 2) величина 0,3 соответствует толщине режущей кромки равной 0,35 мм. Это и есть предельная толщина режущей кромки лезвия ножей волчка МП-200 при измельчении говядины. Толщина лезвия 0,35 соответствует потери 3,8% мясного сока.

Обоснованная таким образом предельная толщина лезвия равная 0,35 мм подтверждается данными, полученными в результате статистической обработки информации изношенных ножей в производственных условиях, согласно которой среднее значение $\mu = 0{,}355$ мм, угол $\delta = 960$. И по данным исследования изнашивания ножей в производственных условиях толщина лезвия равна 0,35-0,37 мм, угол заточки 97-980 [3].

Выводы. На основании проведенных расчетов можно сделать общий вывод, что методика определения предельной толщины режущей кромки лезвия ножей по прогрессирующим затратам, дает точное и убедительное доказательство обоснования предельных параметров ножей в зависимости от качества фарша.

Библиографический список

1. Селиванов А.И., Артемьев Ю.И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. М.: Колос. 1978. 248 с.

2. Полуян В.А Применения композиционных материалов для упрочнения ножей мясоизмельчительных машин // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию факультета механизации СтГау. Ставрополь: Агрус. 2015. С. 337-340.

3. Полуян А.Г., Полуян В.А. Износ ножей мясоизмельчающих машин // Сельские зори. 1990. N5.

References

1. Selivanov A.I., Artemyev Yu.I. Theoretical bases of repair and reliability of agricultural machinery. Moscow: Ear. 1978. 248.

2. Poluyan V.A. Of Use of composite materials for hardening of knives the myasoizmelchitelnykh of cars. Current problems of scientific and technical progress in agrarian and industrial complex. Materials of the International scientific and practical conference devoted to the 65 anniversary of faculty of mechanization of Stgau. Stavropol: Agrus. 2015. 337-340.

3. Poluyan A.G., Poluyan V.A. Iznos of knives myasoizmelchayushchikh of cars. Rural dawns.1990. N5.

УДК 631.3.07:621.892

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО АВТОТРАНСПОРТА НА РЕСУРС ИХ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ

Алексей Николаевич Котомчин, старший научный сотрудник, e-mail: aleshka81@list.ru;
Николай Иванович Корнейчук, профессор, научно-исследовательская лаборатория «Реновация машин и оборудование» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, г. Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика

Реферат. *Дорожно-строительные машины и специализированный транспорт играют важную роль в выполнении дорожно-строительных работ и перевозке грузов. Техническое состояние машин зависит от своевременного и эффективного выполнения работ по соблюдению различных регламентов. (Цель исследования) Оценить влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на показатели их надежности. (Материалы и методы) Проводили наблюдения за парком машин в течение 2018 года. Регистрировали полученные данные в журнале и опросных листах по каждой машине. Фиксировали момент возникновения отказа, количество и виды отказов, способы и время их устранения, продолжительность простоя, стоимость и трудоемкость восстановления машины. (Результаты и обсуждение) Установили в процессе эксплуатации экскаваторов, что чаще всего получают отказы двигатель, рулевой механизм, электрооборудование, механические передачи, гидросистема, шарниры рабочего оборудования. Определили, что ресурс гидрораспределителей составляет менее 3 лет при плановом сроке 4 года. (Выводы) Выявили, что ресурс агрегатов и узлов зависит от условий эксплуатации. Полученные данные позволяют регулировать объемы резервируемых запасных частей и агрегатов для поддержания техники в исправном состоянии.*

Ключевые слова: *специализированный транспорт, дорожно-строительные машины, рабочее оборудование, отказ, наработка, гидропривод.*

Для цитирования: *Котомчин А.Н., Корнейчук Н.И. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 135-142.*

INFLUENCE OF THE CONDITIONS OF OPERATION OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES AND SPECIALIZED MOTOR TRANSPORT ON THE RESOURCE OF THEIR KNOTS AND UNITS

Alexey N. Kotomchin, senior researcher associate, e-mail: aleshka81@list.ru;
Nikolay I. Korneychuk, professor
Research laboratory «Renovation of Machines and Equipment» of the Dnestr state university of T.G. Shevchenko, Bender, Dnestr Moldavian Republic

Abstract. *Road construction machinery and specialized transport and, play an important role in the performance of road construction works and transportation of goods. The technical condition of the machines depends on the timely and effective performance of work to comply with various regulations. (Purpose of research) To Estimate influence of service conditions of road-building cars and specialized motor transport on indicators of their reliability. (Materials and methods) Made observations of the park of cars during 2018. Registered the obtained data in the magazine and questionnaires on each car. Fixed the refusal emergence moment, quantity and types of refusals, ways and time of their elimination, idle time duration, cost and labor input of restoration of the car. (Results and discussion) Established in use excavators that they most often are refused the engine, the steering mechanism, electric equipment, mechanical transfers, a hydraulic system, hinges of the working equipment. Defined that the resource of hydraulic valves makes less than 3 years at planned term 4 years. (Conclusions) Revealed that the resource of units and knots depends on service conditions. The obtained data allow to adjust volumes of the reserved spare parts and units for maintenance of the equipment in good repair.*

Keywords: *specialized transport, road-building machines, working equipment, failure, operating time.*

For citation: *Kotomchin A.N., Korneychuk N.I. Influence of the conditions of operation of road construction machines and specialized motor transport on the resource of their knots and units. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 135-142.*

Введение. Дорожно-строительные машины (ДСМ) и специализированный автотранспорт (САТ) и, играют важную роль в производстве дорожно-строительных работ и перевозке определенных грузов (сыпучие грузы, жидкие, твердые бытовые отходы (ТБО) и др.). Оценка технического состояние парка ДСМ и САТ на предприятиях Приднестровья показала, что эта техника эксплуатируется за пределами амортизационных сроков. Это приводит к снижению показателей надежности, к увеличению затрат на ремонт и, в частности, на запасные части. В связи с этим для повышения эффективности использования парка ДСМ и САТ важно знать частоту отказов узлов и агрегатов машин, с тем чтобы организовать рациональное резервирование ресурсоопределяющих деталей, узлов и агрегатов, а также организовать их восстановление современными способами.

Цель исследования – оценить влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на показатели их надежности.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели в качестве объектов исследований использовали парк ДСМ и САТ муниципальных предприятий Приднестровья, за которыми проводились наблюдения в течение 2018 г., том числе МУП «КомуналДорСервис» г. Бендеры, парк которого наиболее полно отражает состав и состояние техники на других предприятиях (табл. 1). Данные о влиянии технического состояния, условий эксплуатации на ресурс узлов и агрегатов ДСМ и САТ регистрировали в журнале наблюдений и опросных листах по каждой машине в отдельности. В журналах фиксировали дату и наработку на момент возникновения отказа, количество и виды отказов, способы и время их устранения, продолжительность простоя, стоимость и трудоемкость восстановления работоспособного состояния машины.

Таблица 1

Машины МУП «КомуналДорСервис» г. Бендеры

Наименование машины	Марка и базовое шасси	Количество, шт	Средняя наработка с начала эксплуатации
Мусоровоз	КО-415А на базе МАЗ и КамАЗ	12	325000 км
Мусоровоз	Econic на базе Mersedes benz	10	458000 км
Самосвал	КамАЗ-5511	5	275000 км
Самосвал	ЗИЛ ММЗ-555	5	282000 км
Самосвал	МАЗ-5337	2	302000 км
Самосвал	MAN 35	5	386000 км
Погрузчик	на базе МТЗ-82, ЮМЗ-6	7	9650 мото-ч
Трактор	Т-150К	2	11820 мото-ч
Тракторы	Т-25, Т16	9	3520 мото-ч
Автокран	КС-3575, КС-3562 на базе ЗИЛ	2	10780 мото-ч
Автогрейдер	ДЗ-122	2	5860 мото-ч
Экскаваторы	ЭО-3322, NANTEN 18, BOBCAT 334	2	12560 мото-ч
Автопогрузчики	УН-053, L-34	1	3450 мото-ч
Бульдозер	ДЗ-42	3	12350 мото-ч
Мотокатки	ДУ-47, ДУ-48, ДУ-455	2	6850 мото-ч
Асфальтоукладчик	ДС-143	2	5560 мото-ч

Результаты и обсуждение. По результатам наблюдений провели анализ работы ДСМ и САТ, который позволил установить, что парк машин имеет большую среднеарифметическую наработку с начала эксплуатации, которая оказывает значительное влияние на частоту отказов исследуемых машин (табл. 1). Было выявлено, что в большинстве случаев при возникновении отказов узлов и агрегатов их в основном заменяли на новые или заранее отремонтированные. Появилась возможность проследить, как влияет устранение отказов этих узлов на общую работоспособность машин.

Провели исследования на двух типах машин: ДСМ (экскаваторы Nantent 18 и Bobcat 334) и САТ (мусоровозы Econic на базе шасси автомобиля Mersedes-benz и КО-415АГ на базе шасси КамАЗ и МАЗ), так как они включают в себя максимальное количество рабочего оборудования. На основе системного подхода мы разработали структуру и классификацию отказов наиболее часто выходящих из строя узлов наблюдаемых машин. В разработанной структуре сгруппированы основные системы и детали, чаще других получавшие отказы в процессе эксплуатации (рис. 1, 2).

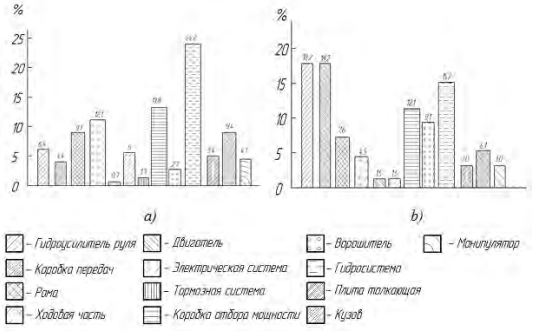
В частности, по экскаваторам: силовая установка (двигатель), рулевой механизм, рабочие органы, электрооборудование, механические передачи, гидросистема, шарниры рабочего оборудования и рама. В результате анализа полученных данных установлено, что в структуре отказов экскаваторов наибольшее их количество приходится на гидравлическую систему и составляет 32%, а на рабочие органы (ковш) и шарниры рабочего оборудования 23 и 11% соответственно (рис. 1) [1, 7]. Причинами такой частоты отказов служат их конструктивно-технологические особенности и условия эксплуатации: величина и частота нагружения в процессе работы, использование масла и запчастей низкого качества, несвоевременное и некачественное устранение отказов [9].

Анализируя сведения по отказам и неисправностям мусоровозов Econic и КО-415А (рис. 2), было выявили, что также, как у экскаваторов, у мусоровозов одним из наиболее распространенных отказов является гидравличе-

ская система, которая наиболее задействована при выполнении работ по погрузке, разгрузке и уплотнении твердых бытовых отходов (ТБО), плита толкающая, а также коробка отбора мощности.

Рис. 1. Структура отказов мини экскаваторов Nantent 18 и Bobcat 334

При этом надежность гидроусилителя руля и кузова мусоровозов КО-415А отечественного производства существенно уступает аналогичным узлам мусоровозов Econic, [2-5].



a) b)

Рис. 2. Структура отказов узлов и механизмов мусоровозов: a) – Мусоровоз Econic на шасси автомобиля Mersedes-benz, b) – КО-415А на базе шасси КамАЗ и МАЗ

Полученные данные по гидравлическим системам исследуемых экскаваторов и мусоровозов позволили установить, что объектами отказов в них являются гидронасосы, гидрораспределители, гидроцилиндры, рукава высокого давления (рис. 3). Исследования количества отказов и неисправностей гидравлических систем экскаваторов показали, что частота их отказов в основном обусловлена низкой надежностью гидравлических агрегатов: аксиально-поршневого насоса (гидронасоса), гидрораспределителей, гидроцилиндров [8-10].

Проведенный анализ использования ДСМ и САТ на предприятиях Приднестровья показал, что значительное увеличение количества отказов происходит в осенне-зимний период. При низких температурах в сборочных единицах гидропривода нарушаются посадки; из-за увеличения вязкости рабочей жидкости происходит замерзание конденсата; значительное ухудшение свойств резинотехнических изделий, а также наблюдаются повреждения металлических и неметаллических трубопроводов из-за недостаточной их хладостойкости. В результате число отказов в осенне-зимний пери-

од увеличивается на 20-80%, а простой машин в ремонте возрастает в 1,2-1,5 раза, что согласуется и имеет место и в других регионах СНГ [9, 10].

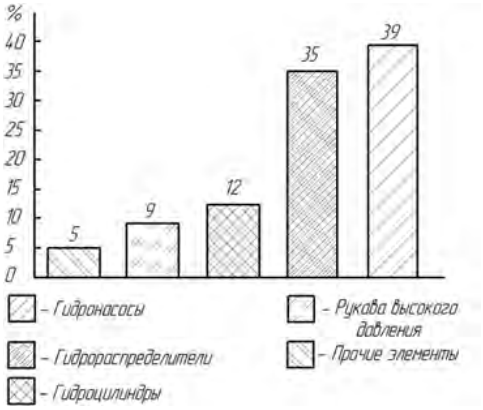


Рис. 3. Структура отказов гидравлических систем экскаваторов

Исследования позволили установить средние значения наработки на отказ в процессе эксплуатации ДСМ.

Таблица 2

Средняя наработка на отказ узлов и агрегатов ДСМ

Сборочная единица	Средняя наработка на отказ t, мото-ч
Силовая установка (ДВС)	523,1
Рулевое управление, механизм поворота	782,4
Рабочие органы	171,7
Электрооборудование	497,8
Механические передачи (КПП)	443,4
Гидрораспределитель	303,4
Гидромотор хода	624,6
Гидромотор поворота	302,7
Сдвоенный гидронасос (секция 1)	481,3
Сдвоенный гидронасос (секция 2)	297,9
Гидроцилиндры	319,8
Шарниры рабочего оборудования	358,9
Рама	814,4

Исследования показали, что наименьший ресурс у рабочих органов и узлов гидропривода, а именно: у сдвоенного гидронасоса (секция 2), гидрораспределителя, гидромотора поворота и гидроцилиндров (табл. 2).

Также выявили, что отказы гидрораспределителей в целом влияют на работоспособное состояние гидропривода.

В результате экспериментов установили, что одной из основных причин преждевременного выхода из строя гидрораспределительной аппаратуры ДСМ и САТ является низкий ресурс золотниковых пар.

Ресурс гидрораспределителей должен составлять менее 4 лет, при наработке 6000 мото-ч (что соответствует количеству около миллиона включений). Для распределителей Р-75 средний ресурс составляет 4000 мото-ч [5, 10]. Как показали полученные данные по предприятиям Приднестровья, эксплуатирующим ДСМ и САТ, преждевременные износы золотниковых пар

приводят к тому, что срок службы секционных гидрораспределительных агрегатов составляет около 3 лет; при средней наработке 3600 мото/ч, а распределителей серии Р-75 – 2030 мото/ч, [8-10].

При оценке распределения доли неисправностей в работе гидрораспределителей установили, что наибольшее их число связано с нарушением герметичности и износом золотниковых пар (табл. 3).

Таблица 3

Оценка неисправностей гидрораспределителей

Неисправности	Количество зафиксированных случаев, ед.	Доля неисправностей, %
Нарушение герметичности по стыкам секций	48	23,30
Нарушение регулировки предохранительных клапанов (первичного и вторичного)	43	20,87
Износ золотников и корпуса	42	20,39
Износ предохранительных клапанов (первичного и вторичного)	15	7,28
Износ обратных клапанов промежуточной секции	14	6,80
Нарушение герметичности уплотнений золотников	11	5,34
Разрушение пружины золотников	5	2,43
Разрушение пружины клапана в золотнике хода	4	1,94
Задиры золотника	2	0,97
Прочие неисправности	22	10,68
Итого	206	100,00

Проведенные исследования позволяют на основании полученных данных применительно к условиям предприятий, эксплуатирующих ДСМ и САТ, прогнозировать номенклатуру и объемы резервируемых запасных частей узлов и агрегатов с целью повышения оперативной готовности и ресурса техники.

Выводы:

1. Установили, что одними из основных узлов и агрегатов, которые влияют на надежность и работоспособность дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта являются рабочее оборудование и гидроприводы, которые осуществляют управление их работой.

2. Выявили, что ресурс агрегатов и узлов зависит от условий эксплуатации. Одним из ресурсоопределяющих элементов гидропривода дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта является гидрораспределитель.

3. Результаты исследований позволяют прогнозировать номенклатуру и объемы резервируемых запасных частей и агрегатов, а также подтверждают необходимость совершенствования технической эксплуатации, технологии изготовления и восстановления ресурсоопределяющих деталей, узлов и агрегатов дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта.

Библиографический список

1. Конев В.В., Серебренников А.А., Бородин Д.М., Половников Е.В., Саудаханов Р.И. Модернизация гидропривода строительно-дорожных машин для северных условий эксплуатации // Современные проблемы науки и образования. 2015. N1-1. 8 с.

2. Каргин Р.В., Косинова М.С. Проблемы организации технического обслуживания и ремонта машин для сбора и вывоза твердых бытовых отходов // Исследования в области конструирования, рабочих процессов и эксплуатации технологических машин: сб. науч. тр. Новочеркасск: УПЦ «Набла» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова. 2006. С. 99-104.

3. Носенко А.С., Домницкий А.А. Исследование надежности и совершенствование конструкции контейнерных мусоровозов // Погрузочно-транспортные, строительно-дорожные и коммунальные машины. Технический сервис и конструкции: сб. науч. тр. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. 2004. С. 19-24.

4. Шемшура Е.А., Алтунина М.С. Исследования надежности мусоровоза как сложной технической системы // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2014». Одесса: КУПРИЕНКО. 2014. Вып. 4(37). Т. 2. С. 298-350.

5. Носенко А.С., Каргин Р.В., Шемшура Е.А., Алтунина М.С. Определение параметров режимов работы кузовных мусоровозов // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы IV-й Междунар. и 62-й Всерос. науч.-практ. конф., апрель 2013, г. Шахты. Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова. 2013. С. 93-96.

6. Мухаметшина Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. N4 (26). С. 403-408.

7. Густов Ю.И. Исследование конструкционно-технологических и эксплуатационных показателей строительной техники // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. N4 (30). С. 470-475.

8. Мухаметшина Р.М. Трибологические отказы дорожно-строительных машин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. N1(2). С. 252-255.

9. Поддержание и восстановление работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их наработки с начала эксплуатации: отчет о НИР. Могилев: Белорусско-Российский университет. 2010. 60 с.

10. Максименко А.Н., Бездников Д.В., Кутузов В.В., Борисенко О.В. Повышение работоспособности гидропривода технических средств // Проблемы эксплуатации систем транспорта: труды всерос. науч.-практ. конф. Сб. статей. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет. 2007. С. 89-94.

References

1. Konev V.V., Serebrennikov A.A., Borodin D.M., Polovnikov E.V., Saudakhanov R.I. Modernization of the hydraulic drive of the road construction machines for the northern operating conditions // Modern problems of science and education. 2015. N1-1. 8.

2. Kargin R.V., Kosinova M.S. Problems of organization of maintenance and repair of machines for the collection and removal of municipal solid waste // Research in the field of design, work processes and operation of technological machines: Sat. scientific Tr. Novocherkassk: Ukrainian Orthodox Church «Nabla» of the Southern Russian state

polytechnical university (NPI) of M.I. Platov. 2006. 99-104.

3. Nosenko A.S., Domnitsky A.A. Investigation of the reliability and improvement of the design of container garbage trucks // Loading, transportation, road construction and utility machines. Technical Service and Design: Sat. scientific Tr. Novocherkassk: Southern Russian state polytechnical university (NPI) of M.I. Platov. 2004. 19-24.

4. Shemshura E.A., Altunina M.S. Studies of the reliability of a garbage truck as a complex technical system // Collection of scientific papers SWorld. Proceedings of the international scientific-practical conference «Perspective innovations in science, education, production and transport 2014». Odessa: Kuprienko. 2014. Iss. 4 (37). Vol. 2. 298-350.

5. Nosenko A.S., Kargin R.V., Shemshura E.A., Altunina M.S. Determining the parameters of the modes of operation of garbage trucks // Development Prospects for Eastern Donbass: Proceedings of the 4th International. and the 62nd All-Russia. scientific-practical Conf., April 2013, Shakhty / Shakhtinsky Institute (branch) of the South Russian Technical University (NPI) of M.I. Platov. 2013. 93-96.

6. Mukhametshina R.M. Failures of road-building machines in terms of corrosion parameters // Izvestiya of the Kazan state architectural and construction university. 2013. of the Kazan state architectural and construction university. N4 (26). 403-408.

7. Gustov Yu.I. Study of structural, technological and operational indicators of construction equipment. Izvestia of the Kazan state architectural and construction university. 2014. N4 (30). 470-475.

8. Mukhametshina R.M. Tribological failures of road-building machines // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 18. N1 (2). 2016. 252-255.

9. Maintenance and restoration of the performance of construction and road machines, taking into account their experience since the beginning of operation: report on research and development. Mogilyov: Belarusian-Russian University. 2010. 60.

10. Maksimenko A.N., Bezdnikov D.V., Kutuzov V.V., Borisenko O.V. Improving the efficiency of the hydraulic drive of technical equipment // Problems of transport systems operation: works of all-Russian. scientific-practical conf. Sat articles. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University. 2007. 89-94.

УДК 621.78

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ

Ильнар Рагипович Гаскаров, кандидат технических наук, доцент
e-mail: gaskarov_ilnar@mail.ru;
Ильяр Радикович Максютов, аспирант;
Вадим Вакилович Арсланов, магистрант;
Артур Вадимович Арсланов, магистрант;
Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. *Одним из эффективных методов восстановления деталей служит электроконтактная приварка ленты. Для реализации данного метода необходимо иметь информацию по режимам и характеристикам приварной ленты. (Цель исследования) Изучить характеристики методов упрочнения деталей при контактной обработке. (Материалы и методы) Выполнили электроконтактную приварку ленты на установке 011-1-02Н, механическую обработку на токарно-винторезном станке модели 16К20, шлифование на круглошлифовальном станке модели 3Б151. Использовали в качестве материала образцы стали марок 45 и 20Х13. Приваривали ленты из стали марки 30 и 50 толщиной 0,3; 0,4 и 0,8 миллиметров. Измерения твердости привариваемой ленты проводили на твердомере Роквелла ТК-2М, при нагрузке на конус 60 килограммов силы. (Результаты и обсуждение) Показали, что величина минимально необходимого припуска на механическую обработку зависит от величины сварочного тока, длительности импульса и паузы, частоты вращения детали. При увеличении длительности импульса возрастают шероховатость приваренной ленты и припуск на механическую обработку. При увеличении длительности импульса увеличиваются среднее значение твердости приваренной ленты и разброс. (Выводы) Оптимальные режимы контактной приварки ленты обеспечивают высокую твердость поверхности, на 5-6 единиц HRC превышающую твердость, достигаемую при закалке с печным нагревом стали данного состава; хорошую сцепляемость ленты с основным металлом; отсутствие значительных макро- и микродефектов в слое приваренной ленты и зоне сплавления. Обоснование полезной толщины привариваемой лены позволяет повысить эффективность технологического процесса путем уменьшения трудоемкости предварительной и окончательной обработки восстанавливаемых поверхностей, а также уменьшить расход присадочного материала, абразивного инструмента и электроэнергии.*

Ключевые слова: *Электроконтактная приварка, стальная лента, толщина покрытия, твердость, прочность сцепления.*

Для цитирования: *Гаскаров И.Р., Максютов И.Р., Арсланов В.В., Арсланов А.В. Исследование свойств покрытий, получаемых электроконтактной приваркой стальной ленты // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 143-150.*

STUDY ON THE PROPERTIES OF COATINGS OBTAINED FLASH BUTT WELDED STEEL STRIP

Ilnar R. Gaskarov, Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: gaskarov_ilnar@mail.ru;
Ilyar R. Maksyutov, postgraduate student;
Vadim V. Arslanov, M.Sc. student;
Artur V. Arslanov, M.Sc. student
Bashkir state agricultural university, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. *Electrocontact welding of a tape serves as one of effective methods of restoration of details. To implement this method, it is necessary to have data on the modes and characteristics of the welded tape. (Purpose of research) Is assessment to Study characteristics of methods of hardening of details at contact processing. (Materials and methods) Executed electrocontact welding of a tape it was made on installation 011-1-02H, machining on model 16K20 turning screw cutter, grinding was made on the circular grinding machine of model 3B151. Used samples of steel of brands 45 and 20X13 as material. Welded tapes used a tape from there were brands 30 and 50 0,3 thick; 0.4 and 0.8 millimeters. Measurements of hardness of the welded tape were taken on Rockwell's hardness gage of shopping mall-2M, at load of a cone of 60 kilograms of force. (Results and discussion) Showed that the size of minimum necessary allowance for machining depends on the size of welding current, duration of an impulse and a pause, frequency of rotation of a detail. As the pulse duration increases, the roughness of the welded tape increases and the machining allowance increases. With increasing pulse duration increases the average hardness of the welded tape and increases the spread. (Conclusions) The optimum modes of contact welding of a tape provide the high hardness of a surface on 5-6 units of HRC exceeding the hardness reached when training with oven heating of steel of this structure; good stickiness of a tape with base metal; absence considerable macro - and microdefects in a layer of the welded tape and an alloyage zone. Ustification of useful thickness of the welded Lena allows to increase efficiency of technological process by reduction of labor input of preliminary and final processing of the restored surfaces and also to reduce a consumption of additive material, the abrasive tool and the electric power.*

Keywords: *Electrocontact welding, steel tape, coating thickness, hardness, adhesion.*

For citation: *Gaskarov I.R., Maksyutov I.R., Arslanov V.V., Arslanov A.V. Study on the properties of coatings obtained flash butt welded steel strip. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 143-150.*

Введение. Одним из эффективных методов восстановления деталей служит электроконтактная приварка ленты. Для реализации данного метода необходимо иметь данные по режимам и характеристикам приварной ленты.

Цель исследования – изучить характеристики методов упрочнения деталей при контактной обработке. Упрочнение деталей при этом можно реализовать двумя различными методами:

- контактной приваркой к поверхности деталей стальной ленты, получающей в результате приварки высокую твердость и износостойкость;

- собственно контактной обработкой (закалкой) поверхностного слоя деталей.

Для достижения поставленной цели необходимо определить степень влияния режима обработки, химического состава ленты и основного материала, а также исходного состояния ленты и основного материала на характеристики упрочнения.

Материалы и методы. Для решения задач исследования разработали методики, позволяющие оценить полезную толщину приваренной ленты, твердость покрытия и прочность сцепления ленты с материалом основы.

Контактную приварку ленты к исследуемым образцам и деталям производили на установке 011-1-02Н. Механическую обработку (точение) отдельных серий образцов выполняли на токарно-винторезном станке модели 16К20. Шлифование образцов и деталей осуществляли в центрах на круглошлифовальном станке модели 3Б151.

В качестве материала для образцов использовали сталь марок 45 (ГОСТ 1050-94) и 20Х13 (ГОСТ 5632-92). Размеры образцов, имитирующих шейки валов деталей технологического оборудования, приняты: для образцов из стали 45 – диаметр 30, 35 и 80 мм, длина 265 мм; для образцов из стали 20Х13 – диаметр 30 мм, длина 125 мм.

В соответствии с поставленными задачами исследования использовали образцы с различной исходной структурой: из стали 45 – в состоянии поставки (горячекатаное состояние); после нормализации; после объемной закалки (с нагревом в электрической муфельной печи); после поверхностной закалки с индукционным нагревом, а образцы из стали 20Х13 – в состоянии поставки (горячекатаное состояние) и после объемной закалки в масле [1].

Материалом для привариваемой ленты стала стальная катаная лента из стали марок 30 и 50 (ГОСТ 1050-94) толщиной 0,3; 0,4 и 0,8 мм.

Полезная толщина приваренной ленты – слой металла, остающийся на поверхности детали после механической обработки. Величина (толщина) этого слоя характеризует материала ленты, что обусловлено, в свою очередь, минимально необходимым припуском на механическую обработку (шлифование), обеспечивающим заданный квалитет точности [4-6].

Режим приварки оказывает большое влияние на шероховатость («гребнистость») поверхности ленты и, следовательно, на величину дефектного, удаляемого при механической обработке слоя, то есть на величину припуска на шлифование. Припуск на шлифование принимали как разность значений диаметров шеек образцов, определенных измерением поверхности приваренной ленты, и после шлифования обработанных шеек «как чисто» до шероховатости поверхности, соответствующей Ra 0,8 мкм. Диаметр шейки образца измеряли в двух сечениях по длине при двух взаимно перпендикулярных положениях микрометра.

Основные измерения твердости проводили на твердомере Роквелла ТК-2М в единицах HRA, при нагрузке на алмазный конус 60 кгс (588 Н).

Общее количество замеров на одной шейке образца составляло 50, они проводились по пяти образующим, расположенным через 70-75° друг от друга. Интервал между соседними уколами составлял 3 мм.

Полученные при измерении твердости данные обрабатывали для получения статистических характеристик: средней арифметической величины твердости (HRA, HV) или микротвердости (Но), дисперсии (σ^2), среднего квадратического отклонения (σ), коэффициента вариации (V). Указанные

характеристики позволяют оценить как величину средней твердости, так и степень структурной неоднородности и зависящие от них показатели износостойкости поверхности, сопротивляемости поверхностного слоя разрушению от переменных нагрузок и другие эксплуатационные характеристики. Качество сцепления ленты с основным металлом исследовали путем обкатки (накатки) приваренного слоя стальным закаленным роликом под заданной нагрузкой. Специально изготовленные ролики из стали У10А, закаленные до твердости HRC 60-62, закрепляли на сварочных клещах установки 011-1-02, вместо роликов – электроды. Давление на ролики при обкатке составляло 0,3-0,4 МПа. Частота вращения шпинделя с закрепленным в патроне образцом составляла при обкатке 9 мин$^{-1}$. Продолжительность обкатки каждого участка составляла 25 мин [7, 8].

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что величина полезного слоя приваренной ленты, следовательно, и величина минимально необходимого припуска на механическую обработку (шлифование), зависят от многих параметров режима приварки, главные из которых: величина сварочного тока, длительности импульса и паузы, частота вращения детали, величина продольной подачи сварочных роликов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Влияние режима приварки ленты на величину припуска на механическую обработку

№ образца	Сварочный ток $I_{св}$, кА	Длительность импульса $T_{имп}$, С	Длительность паузы $T_{паузы}$, С	Припуск на шлифование, мм (на сторону)
1	3,5-3,8	0,02	0,3-0,4	0,14
2	3,5-3,8	0,06	0,3-0,4	0,23
3	2,3-3,8	0,06	0,18	0,22
4	11,3-11,8	0,02	0,3-0,4	0,14
5	11,3-11,8	0,06	0,3-0,4	0,26
6	11,3-11,8	0,05	0,18	0,33
7	11,3-11,8	0,05	0,3-0,4	0,17
8	11,3-11,8	0,06	0,3-0,4	0,20

**Примечание: материал ленты – сталь 30, толщина 0,4 мм; диаметр образцов 30 мм; частота вращения шпинделя 8 об/мин; продольная подача – 4 мм/об – образцы 1-6; 5,5 мм/об – образцы 7, 8.*

По данным таблиц 1, 2 следует, что при увеличении длительности импульса от 0,02 до 0,06 с шероховатость поверхности приваренной ленты заметно увеличивается и припуск на механическую обработку повышается с 0,14 мм до 0,23 мм на сторону.

Уменьшение длительности паузы от 0,3-0,4 до 0,18 с существенно не влияет на шероховатость и величину припуска на механическую обработку. При увеличении продольной подачи до 5,5 мм/об поверхность приваренной ленты остановится «чешуйчатой». При этом припуск на шлифование уменьшается в 2 раза. При увеличении толщины ленты от 0,3 до 0,8 мм припуск на шлифование увеличивается примерно на 0,1 мм на сторону.

Анализ состояния поверхности приваренной ленты при проведении магнитной дефектоскопии показал, что макроскопические трещины и другие дефекты в слое приваренной ленты, в зоне соединения с основным металлом и в зоне термического воздействия сварочного тока на основной металл образца практически не наблюдаются [9, 10].

Таблица 2

Влияние химического состава материала, размеров ленты, образцов и режима приварки на величину припуска на механическую обработку

Образцы		Лента		Сварочный ток $I_{св}$, кА	Припуск на шлифование, мм (на сторону)
марка стали	диаметр, мм	марка стали	толщина, мм		
45	80	50	0,3	9,0-9,3	0,10
			0,3	10,9-11,2	0,15
		30	0,4	10,9-11,2	0,10
			0,8	10,9-11,2	0,16
		50	0,4	10,9-11,2	0,10
			0,8	9,0-9,3	0,15
	30	50	0,3	10,9-11,2	0,13
		30	0,4		0,12
			0,8	10,9-11,2	0,17
20Х13	30	50	0,4	10,9-11,2	0,14
			0,8		0,11

**Примечание: режимы приварки: сварочный ток – 9-11 кА, длительность импульса – 0,05 с; длительность паузы – 0,18 с; для 80 мм частота вращения шпинделя 2 мин$^{-1}$, продольная подача роликов – 9 мм/об; для 30 мм частота вращения шпинделя – 6 мин$^{-1}$, продольная подача роликов – 4 мм/об.*

Результаты измерения твердости на твердомере Роквелла ТК-2М (по шкале HRA) приведены в таблицах 3-6. Контрольные измерения, проведенные на твердомере Викерса ТПП-2, показали хорошее совпадение с данными, полученными при измерении на твердомере Роквелла.

Таблица 3

Влияние режима приварки на статистические характеристики твердости (образцы: Ф30 мм, сталь 45, лента: сталь 30, толщина 0,4 мм)

Образцы	Характеристики твердости					
	$\overline{HRA}$	перевод в HRC	$б^2$	б	V	K
1	63	25	10,59	3,25	5,14	0,46
2	72	43	13,55	3,68	5,11	0,52
3	73	45	19,95	4,47	6,05	0,63
4	61	21	6,74	2,59	4,23	0,37
5	76	50	14,19	3,76	4,96	0,53
6	72	43	45,13	6,72	9,37	0,95
7	74	46	24,74	4,76	6,76	0,70
8	67	35	44,51	6,67	9,91	0,94

Исследование влияния режимов приварки на характеристики твердости показало, что при увеличении длительности импульса от 0,02 до 0,06 с возрастают среднее значение твердости приваренной ленты и разброс значений твердости. С увеличением шага продольной подачи сварочных роликов среднее значение твердости повышается незначительно (до HRC 43-46), а колебание значений твердости уменьшается. Исследования качества приварки (прочности сцепления) ленты к основному металлу обкаткой закаленными роликами выявило следующее. Ленты из стали марок 30 и 50 толщиной 0,3 и 0,4 мм достаточно хорошо привариваются и обеспечивают удовлетворительную прочность сцепления с основным металлом образцов из стали 45 и 20Х13 диаметром 30 мм даже при сварочном токе 2,5-3,5 кА. [2, 3].

Таблица 4

Влияние состава, размера ленты, образца и режима приварки на статистические характеристики твердости

Образцы		Лента		Характеристики твердости					
марка стали	диаметр, мм	марка стали	толщина, мм	$\overline{HRA}$	перевод в HRC	$б^2$	б	V	K
45	30	50	0,3	75	48	16,54	4,07	5,40	0,57
	80			75	48	14,85	3,54	5,16	0,54
	80	30	0,4	67	35	7,56	0,75	4,10	0,38
		50		74	46	12,69	3,56	4,83	0,50
		30	0,8	75	48	7,40	2,72	3,62	0,38
		50		78	54	11,91	3,45	4,45	0,49
20Х13	30	30	0,4	73	45	11,33	3,37	4,62	0,48
		50		71	42	15,56	3,94	5,57	0,56
		30	0,8	75	48	15,63	3,85	5,30	0,56
		50		71	45	8,64	2,94	4,16	0,42

С повышением содержания углерода в металле стальной ленты, увеличением толщины ленты и диаметра образцов привариваемость ухудшается. Удовлетворительная сцепляемость при приварке ленты к образцам диаметром 80 мм достигается только при сварочном токе 8-12 кА.

Таблица 5

Влияние исходного состояния ленты на статистические характеристики твердости после контактной приварки

Исходное состояние перед приваркой		$\overline{HRA}$	Перевод в HRC	$б^2$	б	V
состояние поставки		76	50	8,42	2,91	3,81
После отпуска при температуре °С	200±25	78	54	8,82	2,97	3,81
	400±25	79	56	6,99	2,64	3,37
	600±25	78	54	10,40	3,23	4,16

Таблица 6

Влияние исходного состояния металла, состава и толщины ленты из стали 50 на статистические характеристики твердости

Образцы	Толщина ленты, мм	$\overline{HRA}$	Перевод в HRC	$б^2$	б	V
Состояние поставки (горячекатаное)	0,8	81	58	8,69	2,95	3,64
После нормализации	0,8	80	57	7,85	2,80	3,51
После объемной закалки	0,3	78	55	7,72	2,78	3,54
	0,8	82	59	8,66	2,94	3,61

**Примечание: сварочный ток 10-12 кА, частота вращения шпинделя – 6 мин$^{-1}$, продольная подача роликов – 6 мм/об, длительность импульса – 0,06, длительность паузы – 0,16 с, диаметр образца – 30 мм.*

Сопротивляемость отслаиванию у приваренной ленты из стали 30 (≈0,3% С) примерно в 3 раза выше, чем у ленты из стали 50 (≈0,5% С). Наиболее часто отслоение ленты при приварке на малых сварочных токах наблюдают в зоне станка кольцевой заготовки ленты. Результаты магнитной дефектоскопии и металлографический анализ показывают, что исходное состояние ленты и основного металла не оказывает заметного влияния на образование микротрещин и других дефектов в слое приваренной ленты и в зоне соединения с основным металлом. Влияние исходного состояния привариваемой ленты и основного металла образцов на характеристики твердости показано в таблицах 5 и

6. По данным таблицы 5 видно, что предварительный перед приваркой отпуск ленты вызывает повышение твердости после приварки на 4-6 ед. HRC. Приварка высоко отпущенной ленты вызывает увеличение разброса твердости. По данным таблицы 6 видно, что исходное состояние основного металла практически не оказывает влияния на среднюю твердость приваренной ленты. Некоторые различия наблюдается только в колебании значений твердости.

Выводы. Оптимальные режимы контактной приварки обеспечивают высокую твердость поверхности (на 5-6 ед. HRC превышающую твердость, достигаемую при закалке с печным нагревом стали данного состава), хорошую сцепляемость ленты с основным металлом, отсутствие значительных макро- и микродефектов в слое приваренной ленты и зоне сплавления. Обоснование полезной толщины привариваемой лены позволяет повысить эффективность технологического процесса путем уменьшения трудоемкости предварительной и окончательной обработки восстанавливаемых поверхностей, а также уменьшить расход присадочного материала, абразивного инструмента и электроэнергии.

Библиографический список

1. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Левин Э.Л., Нафиков М.З., Наталенко В.С., Исламов Л.Ф., Юферов К.В. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочных материалов из стальных лент // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. N3 (111). С. 13-16.

2. Сайфуллин Р.Н., Левин Э.Л., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р., Юнусбаев Н.М., Наталенко В.С. Восстановление изношенных деталей машин электроконтактной приваркой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. N11. С. 28-31.

3. Сайфуллин Р.Н., Гаскаров И.Р. Долговечность деталей, восстановленных электроконтактной приваркой стальной ленты // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. N1. С. 44-47.

4. Пат. РФ 2307010. Способ электроконтактной приварки металлических порошков / Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Гаскаров И.Р.; заявитель и патентообладатель Башгосагроуниверситет. N 2006105314; заявл. 20.02.06; опубл. 27.09.07. Бюл. N 12. 4 с.

5. Гаскаров И.Р. Восстановление автотракторных деталей электроконтактной приваркой композиционных материалов: дисс. … канд. техн. наук: 05.20.03. Уфа. 2006. 130 с.

6. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. Надежность и ремонт машин: учебник. М.: Колос. 2000. 776 с.

7. Черноиванов В.Н., Бледных В.В., Северный А.Э., Белоглазов Н.С., Борисенко В.А. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. Москва; Челябинск: ГОСНИТИ. 2003. 992 с.

8. Сайфуллин Р.Н., Фархшатов М.Н., Наталенко В.С., Юнусбаев Н.М. Распределение микротвердости в покрытиях и ее влияние на сопротивление усталости деталей, восстановленных электроконтактной приваркой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. N2. С. 18-21.

9. Левин Э.Л., Фархшатов М.Н., Сайфуллин Р.Н. Восстановление деталей машин электроконтактной приваркой металлопорошковых композиций // Материалы международной научно-технической конференции: «Новые методы ремонта и восстановления деталей сельскохозяйственных машин». Саранск: Мордовский государственный университет; Институт механики и энергетики. 2001. С. 88-92.

10. Гаскаров И.Р., Сайфуллин Р.Н. Анализ технологий восстановления деталей

электроконтактной приваркой присадочных материалов // Материалы национальной научной конференции: «Достижения науки и инновации для аграрного производства». Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2016. С. 142-148.

References

1. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Levin E.L., Nafikov M.Z., Natalenko V.S., Islamov L.F., Yuferov K.V. Properties of coatings obtained by electrocontact welding of filler materials from steel tapes. Hardening technology and coatings. 2014. N3 (111). 13-16.

2. Saifullin R.N., Levin E.L., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R., Yunusbaev N.M., Natalenko V.S. Restoration of worn parts of machines by electric welding. Repair. Recovery. Modernization. 2008. N11. 28-31.

3. Saifullin R.N., Gaskarov I.R. Durability of the details restored by electrocontact welding of a steel tape. Bulletin of Bashkir state agrarian University. 2010. N1. 44-47.

4. Pat. Russian Federation 2307010. Method electrocontact welding of metal powders / Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Gaskarov I.R.; applicant and patentee Belgosproject. N 2006105314; Appl. 20.02.06; publ. 27.09.07. Bull. N12. 4.

5. Gaskarov I.R. Restoration of automotive parts for the electric welding of composite materials: ... kand. tech. Sciences: 05.20.03. – Ufa. 2006. 130.

6. Kurchatkin V.V., Telnov N.F., Achkasov K.A. Reliability and repair of machines textbook. Moscow: Kolos. 2000. 776.

7. Chernoivanov V.N., Pale V.V., Northern A.E., Beloglazov N.S., Borisenko V.A. Maintenance and repair of cars in agriculture. Moscow; Chelyabinsk: GOSNITI, 2003. 992.

8. Saifullin R.N., Farkhshatov M.N., Natalenko V.S., Yunusbaev N.M. Distribution of microhardness in coatings and its effect on the fatigue resistance of parts restored by electrocontact welding. Hardening technologies and coatings. 2007. N2. 18-21.

9. Levin E.L., Farkhshatov M.N., Saifullin R.N. Restoration of machine parts by electrocontact welding of metal-powder compositions. Materials of the international scientific and technical conference: «New methods of repair and restoration of agricultural machinery parts». Saransk: Mordovian state University; Institute of mechanics and energy. 2001. 88-92.

10. Gaskarov I.R., Saifullin R.N. Analysis of technologies of restoration of details by electrocontact welding of additive materials. Materials of national scientific conference: «Achievements of science and innovations for agricultural production». Ufa: Bashkir state agrarian University. 2016. 142-148.

УДК 631.95

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CALS (ИПИ)-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНИКИ В АПК

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

Реферат. *В 2017 году количество задействованной энергонасыщенной сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны) на территории Российской Федерации составляло 550 тысяч единиц. Значительное количество сельскохозяйственной техники технически и морально устарело. По прогнозам на 2022 год число самоходной сельскохозяйственной техники, которая выйдет из строя, составит около 100 тысяч единиц. (Цель исследования) Определить способы применения CALS-технологий для формирования ресурсосберегающей экологоориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники на федеральном уровне. Это позволит повторно использовать годные и восстановленные детали, полученные из выбывшей из эксплуатации техники, а также получать дополнительные финансовые средства из реализации вторичных ресурсов. (Материалы и методы) Выявили, что для функционирования подобной системы необходимо работать с большим количеством данных, связанных с протекающими процессами утилизации, а также постоянно следить за изменением состояния и свойств материалов. Определили, что применение CALS-технологий поможет совместить все эти требования и заставить систему работать. (Результаты и обсуждение) Установили, что использование 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. Отметили, что они дадут возможность обеспечить логистическую поддержку всех составляющих материальных потоков техники на протяжении всего ее жизненного цикла. Рассмотрели ключевые моменты применения CALS-технологий на примере системы утилизации всего сельхоз парка России, программное обеспечение, необходимое для работы этой системы, а также движение материальных потоков деталей на конечных этапах жизненного цикла на примере трактора К-744Р и комбайна Torum 780. (Выводы) Для функционирования системы утилизации сельскохозяйственной техники работы необходимо привлечь значительное количество 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. Без использования современных CALS-технологий такая система априори не сможет рабо-*

тать. Необходим заключительный процесс в формировании системы утилизации сельскохозяйственной техники, который сможет собрать воедино всю накопленную информацию и организовать логистическую поддержку, основываясь на виде техники и качестве ее деталей.

Ключевые слова: *CALS (ИПИ)-технологии, рециклинг, жизненный цикл, восстановление деталей, программное обеспечение.*

Для цитирования: *Каперзов А.О., Герасимов В.С., Игнатов В.И. Возможность использования CALS (ИПИ)-технологий при формировании системы утилизации техники в АПК // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 151-157*

THE POSSIBILITY OF USING CALS (PIS) - TECHNOLOGIES IN THE FORMATION OF RECYCLING SYSTEMS IN AGRICULTURE

Artem O. Kaperzov, engineer, e-mail: rosagroserv@list.ru;
Valery S. Gerasimov;
Vladimir I. Ignatov, Dr.Sc(Eng.), chief research engineer
Federal scientific agroengineering center WIM,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *In 2017, the number of involved energy-saturated agricultural machinery (tractors, combines) on the territory of the Russian Federation amounted to 550 thousand units. A significant amount of agricultural machinery is technically and morally obsolete. According to forecasts for 2022 the number of self-propelled agricultural machinery, which will fail, will be about 100 thousand units. (Purpose of research) To define methods of application of CALS technologies for formation of a resource-saving ekologooriyentirovanny system of utilization of agricultural machinery at the federal level. This will make it possible to re-use fit and restored parts obtained from decommissioned equipment, as well as receive additional funds from the sale of secondary resources. (Materials and methods) Revealed that for functioning of all similar system it is necessary to work with a large number of the data connected with the proceeding utilization processes and also to monitor constantly change of a state and properties of materials. Defined that use of CALS technologies will help to combine all these requirements and to force a system to work. (Results and discussion) Established that use of CALS (IPI)-technologies for formation of a system of utilization of agricultural machinery will allow to create the general database which will be based on a final condition of details and their variable properties. Noted that they will give the chance to provide logistic support of all components of material flows of the equipment throughout all its life cycle. Considered the key moments of use of CALS technologies on the example of the system of utilization of all agricultural park of Russia, the software necessary for work of this system and also the movement of material flows of details at final stages of life cycle on the example of the K-744P tractor and the Torum 780 combine. (Conclusions) It is necessary to attract a significant amount of means to functioning of a system of utilization of agricultural machinery of work and to use the latest technologies. However to force to work this system quite really that is proved by already existing examples of realization of similar systems of utilization, both, for example, in aviation, and partially in automotive vehicles. Without use of modern CALS technologies*

such system a priori will not be able to work. Final process in formation of a system of utilization of agricultural machinery which will be able to aggregate all accumulated information is necessary and to organize logistic support, based on a type of the equipment and quality of its details.

Keywords: *CALS (PIS)-technologies, recycling, life cycle, parts recovery, software.*

For citation: *Kaperzov A.O., Gerasimov V.S., Ignatov V.I. The possibility of using CALS (IPI)-technologies in the formation of recycling systems in agriculture. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 151-157.*

Введение. Парк самоходной сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны), по данным Минсельхоза РФ, должен быть увеличен: по тракторам на 68 тысяч, зерноуборочным комбайнам на 37 тысяч, кормоуборочным комбайнам на 3 тысячи, так как значительная часть этой техники технически и морально устарела [1]. Это негативно влияет на общую производительность и требует дополнительных финансовых затрат на восстановление вышедшей из строя техники. Решением данной проблемы служит создание ресурсосберегающей экологоориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники на федеральном уровне. Для того чтобы эта система эффективно работала на таком масштабном уровне, необходимо применять CALS-технологии на каждом из этапов жизненного цикла (ЖЦ) техники.

Цель исследования – определить способы применения CALS-технологий для формирования ресурсосберегающей экологоориентированной системы утилизации сельскохозяйственной техники на федеральном уровне.

Материалы и методы. Планирование эффективной утилизации машин и их составных частей и разработка специального оборудования для этих целей снижает затраты на утилизацию после вывода изделия из эксплуатации. Это достигается за счет реализации материалов из уже вышедшей из строя техники. На рисунке 1 указана примерная стоимость деталей, которую можно получить после восстановления из утилизируемой сельскохозяйственной техники (СХТ).

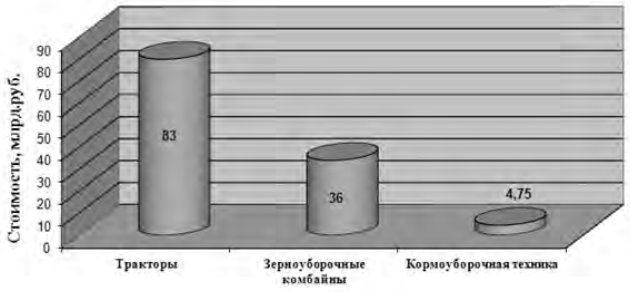


Рис. 1. Стоимость восстановленных деталей утилизируемой СХТ

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.

В основу понятия CALS-технологий положены следующие идеи [2]:

– системность подхода к информационной поддержке жизненного цикла 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 широкому использованию электронных данных с общим доступом к ним;

– организация 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;

– ориентация на преимущественное использование универсальных программных и аппаратных решений, представленных на открытом рынке.

Реализация указанных принципов для системы утилизации сельскохозяйственной техники приведет к образованию одной глобальной структурированной базы данных, которая будет содержать информацию по количеству материалов с каждой единицы техники, их состоянию и свойствам.

Чтобы эти данные попали в базу, необходимо заранее определить и задокументировать все требования к процедурам утилизации, а также оценить соответствующие затраты. На этапе проектирования нужно принять меры по обеспечению технологии разборки финального изделия и его составных частей и определить способ утилизации. При необходимости для выполнения этих работ разрабатывают техническое задание (ТЗ) на специальное технологическое оборудование [3]. Для решения задач по обеспечению информационной поддержки изделия используют такой инструмент, как анализ логистической поддержки [4]. Он включает в себя анализ условий и возможных режимов эксплуатации изделия, его конструкции, технического обслуживания (ТО), том числе выбор методов и технологий выполнения работ по ТО с оценкой их трудоемкости и продолжительности, определение потребностей в материальных и трудовых ресурсах, разработка методического обеспечения системы сбора данных (мониторинга). Полученные результаты накапливают в базе данных и используют при реализации этапов жизненного цикла. Пример такой базы данных показан на рисунке 2.

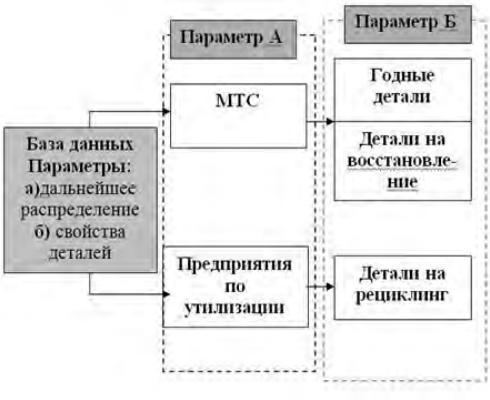


Рис. 2. Пример модели базы данных по утилизации СХТ

Одним из краеугольных камней применения технологий информацион-

ной поддержки (ИПИ) ЖЦ является стандартизация процессов и технологий информационного взаимодействия всех участников ЖЦ изделия на всех его стадиях [6]. На сегодняшний день уже существует программное обеспечение, которое способно реализовать все эти функции.

Хорошим примером такого приложения является программа Silver Date. Хоть она и ориентирована на пассажирские и грузовые автомобили, но ее можно использовать для сельскохозяйственной техники. Соответственно, программа имеет данные по каждому из типов техники, способам и методам ее разбора; расчетную часть, способную определить стоимость восстановительных и ремонтных работ, а также по дальнейшему использованию деталей, что выгоднее – восстановить и повторно использовать или утилизировать.

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 [7]. Около 36% из разобранных машин могут быть восстановлены используя разработанные техпроцессы, а остальные должны быть переданы на утилизацию. Для примера, 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.

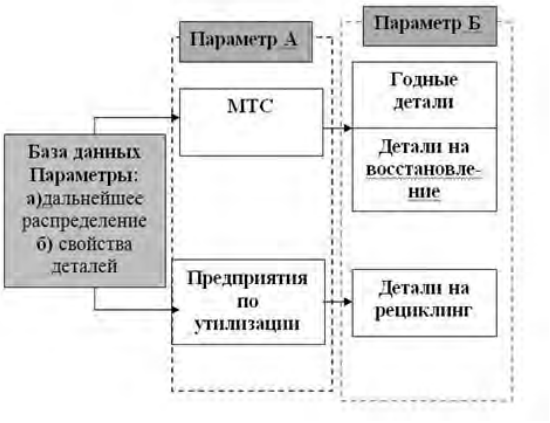


Рис. 3. Количество деталей и металлофонд утилизируемых машин

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.

Для реализации всех этих планов необходима информационно- логистическая поддержка на протяжении выполнения всех процессов. Поэтому основные параметры и свойства, которые должны будут сохранять и учитывать в созданной базе данных,– это состояние и их количество деталей.

На основании данных параметров и будут определять их дальнейшее назначение и рассчитывать объем затраченных и полученных финансовых ресурсов [5].

Результаты и обсуждение. 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 для выполнения этих функций создаст необходимые условия для работы и поддержания функциональности системы [7, 8].

Выводы. Формирование системы утилизации сельскохозяйственной техники – сложный с точки зрения реализации процесс. Для ее работы необходимо привлечь значительное количество 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. ВИМ за годы своей деятельности по этому направлению уже произвел все необходимые расчеты, а также вывел и сформировал пример рабочей модели такой системы с уклоном в утилизацию сельскохозяйственной техники. Однако без использования современных CALS-технологий такая система априори не сможет работать.

Из этого можно сделать вывод, что необходим и обязателен заключительный процесс в формировании системы утилизации сельскохозяйственной техники, который сможет собрать воедино всю накопленную информацию и организовать логистическую поддержку, основываясь на виде техники и качестве ее деталей.

Библиографический список

1. Российский статистический ежегодник. 2017: Стат. сб. М.: Росстат. 2017. 511 с.

2. 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.

3. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2002. 131 с.

4. S2000M International Specification for Material Management. ASD. Iss. 5.0. 2012.

5. Судов Е.В., Левин А.И. Анализ логистической поддержки: теория и практика. М.: ООО Издательство «ИнформБюро». 2014. 260 с.

6. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М.: МДМ. 2003. 263 с.

7. Лисай Н.К., Соловьев С.А., Герасимов В.С. Особенности формирования системы утилизации сельскохозяйственной техники в АПК Республики Беларусь: монография. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2017. 250 с.

8. Левин А.И., Судов Е.В. CALS-сопровождение жизненного цикла // Открытые системы. 2001. N3. С. 58-62.

References

1. Russian statistical year-book. To become collection. M.: Rosstat. 2017. 511.

2. Levin A.I., Sudov E.V. Concept and technologies of computer support of product life cycle processes. Information technology in the knowledge-based engineering. Computer

support of industrial business . Kyiv: Technique. 2001. 612-625.

3. Sudov. E.V., Levin A.I. Concept of development of CALS-technologies in industry of Russia. Moscow: SIC CALS-technologies «Applied logistics». 2002. 131.

4. S2000M International Specification for Material Management. ASD. Iss. 5.0. 2012.

5. Sudov E.V., Levin A.I. Analysis of logistic support: theory and practice. Moscow: publishing House «Informburo». 2014. 260.

6. Sudov E.V. Integrated information support of the life cycle of machine-building products. Principles. Technologies. Methods. Models. Moscow: Ed. home «MDM». 2003. 263.

7. Lisai N.K., Soloviev S.A., Gerasimov V.S. Features of formation of the system of utilization of agricultural machinery in the agroindustrial complex of the Republic of Belarus: monograph. Minsk: SPC NAS of Belarus on agricultural mechanization. 2017. 250.

8. Levin A.I., Courts E.V. CALS-support of lifecycle. Open systems. 2001. N3. 58-62.

УДК 621.9.048

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ. ЧАСТЬ 1: МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Валерий Игоревич Иванов[1], кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Анатолий Демьянович Верхотуров[2], доктор технических наук, профессор;
Леонид Алексеевич Коневцов[2], кандидат технических наук, научный сотрудник
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация
[2]Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация

Реферат. *В литературе отсутствуют систематические сведения о методологии достижения требуемых функциональных свойств исполнительных поверхностей различных объектов: деталей машин, инструментов и технологической оснастки для механической обработки материалов в холодном и горячем состоянии. (Цель исследования) Разработать методологию создания исполнительных поверхностей деталей различного назначения путем применения метода электроискрового легирования и обосновать критерии и параметры оценки этого метода. Разработка и использование методологии создания исполнительных поверхностей деталей данным методом может способствовать обоснованному выбору материалов катода и анода, режимов обработки, межэлектродных сред применительно к конкретным условиям эксплуатации различных объектов. (Материалы и методы) Создали методологическую базу с использованием дедуктивного метода с постепенной уровневой конкретизацией и дополнением разрабатываемой тематики. Отметили, что основой разработки послужила 4-четырехзвенная парадигма Г.В. Самсонова «состав → технология → структура → свойства», дополненная признаком функционального назначения материала и расширенными признаками состава и технологии. Разработали методологию создания исполнительных поверхностей деталей методом электроискрового легирования на основе гипотетико-дедуктивной модели получения научного знания. (Результаты и обсуждение) Рассмотрели ряд методологические схемы, связанные с получением функциональных электроискровых покрытий. Показали важную роль материала анода во взаимосвязи с материалом катода в процессе создания функциональных покрытий. Создали методологию материалогии на основании сформулированных целей науки о материалах, ее задач, предмета исследований и концептуальных основ. (Выводы) Разработали основные методологические положения упрочнения и восстановления исполнительных поверхностей различных объектов из токопроводящих материалов методом электроискрового легирования с учетом их функционального назна-*

чения. Выявили важную роль материала анода во взаимосвязи с материалом катода в процессе создания функциональных покрытий.

Ключевые слова: *электроискровое легирование, методология, функциональные свойства, деталь, , технология, анод, катод.*

Для цитирования: *Иванов В.И., Верхотуров А.Д., Коневцов Л.А. Методологические аспекты применения электроискрового легирования. Ч. 1. Методология исследования упрочнения и восстановления деталей, получения электроискровых покрытий // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 158-169.*

METHODOLOGICAL ASPECTS OF APPLICATION OF ELECTROSCRAPE DEPOSITION. PART 1: METHODOLOGY OF INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF STRENGTHENING AND RESTORING DETAILS, PRODUCING ELECTRO-SCREEN COATINGS

Valery I. Ivanov[1], Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru;
Anatoly D. Verkhoturov[2], Dr.Sc(Eng.), professor;
Leonid A. Konevtsov[2], Ph.D.(Eng.), research associate
[1] Federal scientific agroengineering center WEAM, Moscow, Russian Federation;
[2] 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 literature there are no systematic data on methodology of achievement of the required functional properties of the executive surfaces (ES) of various objects: details of cars, tools and the industrial equipment for machining of materials in a cold and hot state. (Purpose of research) To develop methodology of creation of executive surfaces of details of different function by application of a method of electrospark alloying of EIL and to prove criteria and parameters of assessment of this method. The development and use of the method of creating IP components by the method of ESA can contribute to the informed choice of cathode and anode materials, processing modes, interelectrode media with respect to specific operating conditions of various objects. (Materials and methods) Created methodological base with use of a deductive method with a gradual-level specification and addition of the developed subject. Noted that the 4-four-unit paradigm of G.V. Samsonov «structure → technology → structure → properties», complemented with sign of the functional purpose of material and expanded signs of structure and technology formed a basis of development. Developed methodology of creation of executive surfaces of details by method of electrospark alloying on the basis of hypothetico-deductive model of obtaining scientific knowledge. (Results and discussion) Considered the methodological schemes connected with receiving functional electrospark coverings. Showed an important role of material of the anode in interrelation with cathode material in the course of creation of functional coverings. Created materialogiya methodology on the basis of the formulated science purposes about materials, its problems, a subject of researches and conceptual bases. (Conclusions) Developed the basic methodological provisions of hardening and restoration of executive surfaces of various objects from conducting materials by method of electrospark alloying taking into account their functional purpose. Revealed an important role of material of the anode in interrelation with cathode material in the course of creation of functional coverings.*

Keywords: *electrospark alloying; methodology; functional properties; detail; technology; anode; cathode.*

For citation: *Ivanov V.I., Verkhoturov A.D., Konevtsov L.A. Methodological aspects of application of electroscrape deposition. Part 1: methodology of investigation of the processes of strengthening and restoring details, producing electro-screen coatings. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 158-169.*

Введение. Современные машиностроительное и ремонтное производства основаны на использовании различных методов обработки материалов (механический, термический, электрофизический, электрохимический) и их сочетании. Это позволяет получать изделия требуемых формы и размеров из исходных заготовок с необходимыми объемными и поверхностными свойствами, рельефом поверхности. При этом в литературе отсутствуют систематические сведения о методологии достижения требуемых функциональных свойств исполнительных поверхностей (ИП) различных объектов: деталей машин, в том числе сельскохозяйственной, дорожной, коммунальной, транспортной техники, технологического оборудования, инструментов для механической обработки материалов в холодном и горячем состоянии (далее по тексту – деталей). Такая методология должна составлять основу для выбора методов обработки, назначения необходимого оборудования, технологических режимов и прочего с целью достижения требуемых параметров поверхности и свойств поверхностного слоя. Среди многих методов электрофизической обработки значительное место занимает электроискровое легирование (ЭИЛ). За более чем 70-летний период накоплен большой практический опыт его применения, во многих технически развитых странах продолжаются его исследования в направлении совершенствования оборудования, технологий и электродных материалов [1-10]. Отсутствие методологии применения ЭИЛ и повышения эффективности упрочнения и восстановления с его использованием затрудняет разработку эффективных технологий, оценку оптимальных областей применения, необходимых направлений развития этого универсального метода.

a) *b)* *c)*

Рис. 1. Схема материала:

a) – до формирования на нем измененного поверхностного слоя – базовый материал; b) – в результате структурных, фазовых превращений материала, a±Δx – изменение размера материала за счет химико-термической обработки или пластического деформирования; c) – при использовании методов нанесения покрытий и создании легированного слоя (ЛС), a±Δx'+ЛС

В связи с этим нами опубликованы работы по становлению и развитию нового этапа науки о материалах – материалогии и ее методологии, показано формирование составляющих ее разделов, в том числе материалогии поверхности, что может способствовать разработке методологических основ эффективного применения ЭИЛ [11-14]. В частности, материалогия поверхности изучает, наряду с ее рельефом, поверхностный слой вещества (базового материала или его покрытия): состав, структуру, технологию формирования с целью достижения требуемых свойств и их использования (рис. 1). Разработка и использование методологии создания ИП деталей методом ЭИЛ может позволит обоснованно осуществлять подход к выбору режимов обработки; материалов катода, анода, межэлектродных сред.

Цель исследования – разработать методологию создания ИП деталей различного назначения путем применения метода ЭИЛ и обосновать критерии и параметры оценки этого метода.

Материалы и методы. Для создания методологии использовали дедуктивный метод с постепенной уровневой конкретизацией и дополнением разрабатываемой тематики. Методологическую схему создания ИП строили на базе концептуальной основы нового этапа развития науки о материалах – материалогии, фундаментальной основой которой стала четырехзвенная парадигма Г.В. Самсонова: «состав → технология → структура → свойства», дополненная признаком функционального назначения (ФН) материала и расширенными признаками состава и технологии. Для разработки методологии создания ИП деталей методом ЭИЛ использовали гипотетико-дедуктивную модель получения научного знания, верхними уровнями которой являются предельно допустимые и общенаучные методы, определяющие методологию науки о материалах – материалогию [12, 14].

Результаты и обсуждение. Методология исследований упрочнения и восстановления деталей методом ЭИЛ. Методология разработки методов и технологий упрочнения и восстановления деталей неразрывно связана с общенаучной методологией. Она имеет многоуровневый характер и построена на принципах дополнения и конкретизации общей методологии (рис. 2).

Рис. 2. Методологическая схема уровней разработки методов и технологий упрочнения и восстановления деталей

Методологии промежуточных уровней от методологии материалогии до методологии ЭИЛ в литературе нет. Поэтому методология ЭИЛ может быть разработана, исходя из методологии материалогии, на основании сформулированных целей и задач науки о материалах, ее предмета исследований и концептуальных основ [11]. В таблице 1 приведены результаты анализа методологии материалогии и ЭИЛ из сопоставления целей, задач и предмета исследований.

Таблица 1

Цели, задачи и предмет исследований материалогии и ЭИЛ

Элементы методологии	Материалогия	ЭИЛ
Цель	Разработка и получение материалов с требуемыми свойствами в условиях устойчивого развития человечества	Разработка и получение ЛС с высоким уровнем свойств и высокой эффективностью процесса ЭИЛ
Задача	Исследование и получение информации, знаний о взаимосвязи «ФН - состав – технология – структура – форма – свойства» с учётом циклического круговорота вещества и материалов во «второй» природе	Исследование взаимосвязи «состав – технология – структура - свойства» материалов анода и катода, для создания ЛС
Предмет исследований	Материалы: химические элементы, сплавы на их основе, другие соединения, в т.ч. из нетрадиционных источников сырья	Токопроводящие материалы (металлы и их сплавы), ЛС и его свойства

В связи с отсутствием в литературе уровневой классификации методов и процессов необходимо допустить ограничения, так как ни методология получения поверхности материала с заданным качеством, ни методология электрофизических методов и ЭИЛ пока не созданы. В связи с этим сделано допущение, что методология ЭИЛ может быть разработана, исходя из методологии материалогии.

Разработали методологию материалогии на основании сформулированных целей науки о материалах, ее задач, предмета исследований и концептуальных основ [13]. На ее основе, используя принцип «дополнения и конкретизации», разработана методологическая схема создания ИП деталей по мере снижения до рассматриваемого уровня с формированием функционального ЛС (рис. 3). Для разработки методологических основ создания ИП деталей с использованием метода ЭИЛ предложили базироваться на концептуальной основе науки о материалах, суть которой составляет четырехзвенная парадигма Г.В. Самсонова.

Эта парадигма стала общепризнанной концептуальной основой материаловедения, однако не включает в себя признак, определяющий создание функциональных материалов, т.е. признак ФН – функционального назначения ИП. Уточнение и глубокое изучение этого признака приводит к обоснованию требований по составу, структуре, свойствам анодного материала. Одними из главных факторов, определяющих выбор материала анода, являются изучение ФН материала катода и имеющаяся база данных модельных исследований анодных материалов.

Обоснование выбора анодных материалов основа для осуществления типовой технологии «ЭИЛ-1», отработки с ее использованием режимов упрочнения ИП, получение ЛС и выполнение предварительных исследований ЛС по составу, структуре и свойствам (1*, рис. 3).

Рис. 3. Методологическая схема упрочнения и восстановления ИП деталей методом ЭИЛ (шестого уровня)

После предварительных исследований возможна формулировка уточнений ФН по технологии, первых выводов и корректировка режимов. Откорректированный вариант технологии «ЭИЛ-2» в свою очередь требует применения уточненных технологических режимов, в том числе и финишной обработки (также при осуществлении операций упрочнения, реновации ИП деталей). После выполнения окончательных исследований (2*) получаемого ЛС (состав, структура, свойства), ИП детали должна отвечать в полной мере своему ФН. При повышенных требованиях к качеству возможен дополнительный этап «ЭИЛ-3». Таким образом, признак ФН является при достижении качества ЛС исходным, и ему подчиняются технологические связи, формирующие требуемые состав, структуру, свойства ИП детали.

В связи с этим в работе используют парадигму Г.В. Самсонова, дополненную указанным признаком ФН, известным как пятизвенная парадигма [11, 12]. Она является базой разработки методологии формирования ИП деталей методом ЭИЛ и их исследования с использованием критериев эффективности (рис. 4).

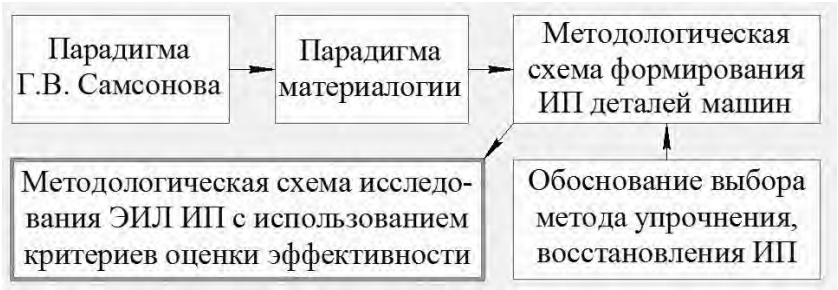


Рис. 4. Базовая схема разработки методологии исследования процесса создания ИП деталей методом ЭИЛ

Более того, предлагаем считать все материалы, как созданные природой, так и искусственные функциональными, предназначенными для участия в тех или иных процессах, содержащих признак ФН материала. Даже случайно созданный путем алхимии материал становятся функциональным после познания и уяснения его свойств, предопределяющих функциональное назначение изготовленной из него вещи. Отсутствие признака ФН материала свидетельствует о недостаточно глубоком изучении самого материала и его свойств. Выбор метода повышения работоспособности ИП деталей. Защитные функциональные покрытия ИП на деталях машин и инструментах долж-

ны разрабатываться с учетом условий эксплуатации. Нужно учитывать обеспечение требования не только получения новых свойств материала, но и управления технологическим процессом его создания. Обоснование выбора технологического процесса повышения работоспособности материала ИП деталей может быть обусловлено выбором директивного либо стратегического направления (рис. 5).

Рис. 5. Обоснование выбора метода повышения работоспособности ИП деталей

Директивное направление основано на создании условий устойчивого развития страны, решениях Правительства с учетом вопросов ресурсообеспечения, импортозамещения, экологии и других. Оно реализуется через разработку и утверждение перечня критических технологий, приоритетных направлений развития науки и страны, перспективных планов РАН. Стратегическое направление, основано непосредственно необходимостью упрочнения и восстановления деталей, дефицитом различной, в том числе сельскохозяйственной продукции в стране, непрерывным ростом потребления машин и энергозатрат отраслями экономики. При этом мотивацией выбора направления является необходимость упрочнения и восстановления ИП различных деталей машин, определяемая их ФН.

В настоящее время существуют три пути повышения работоспособности материала деталей. Во-первых, это получение новых материалов и связанное с ним пополнение научного банка данных, и совершенствование технологий создания материалов и изделий известными методами (аморфные, керамические, кристаллические, композиционные материалы). Этот банк пополняется новыми соединениями боридов, карбидов, нитридов, тугоплавких соединений. Здесь же рассматривается получение материалов с использованием наноматериалов, а также новых принципов материалогии с использованием нетрадиционного для материаловедения исходного сырья. Во-вторых, это методы объемного упрочнения материалов с использованием экстремальных давлений, нагрева и охлаждения. Наряду с этим, в последние годы наибольший эффект на практике дает поверхностное упрочнение, конструирование и применение слоистых покрытий ИП (одно- или многослойных) материалов методами физического (ФОП), химического (ХОП) осаждения, лазерного оплавления и осаждения, комбинированными методами. Особое место при этом занимает «русский метод» – ЭИЛ [15, 16], от-

личающийся наиболее высокой универсальностью, технологичностью и экономичностью. Для реализации повышенных технических требований при создании ИП деталей с применением метода ЭИЛ необходимо учитывать до начала формирования покрытия химический состав и структурное состояние электродных материалов (катод, анод), а также электрофизические и металлургические процессы в ходе его осуществления, особенности взаимодействия вступающих в связи материалов в процессе формирования ЛС, его свойства и характеристики поверхности при доводке ИП с целью достижения заданных свойств. Следует отметить особую роль слоистых покрытий в конструировании градиентного материала деталей, обладающих в направлении передачи механического воздействия переменными свойствами по твердости, пластичности, модулю упругости.

В интересах страны необходимо государственное стимулирование этого направления, приоритетное финансирование науки о материалах и машиностроения, определяющих развитие всех других отраслей производства. В настоящее время это реализуется в виде постоянных Программ, конкурсов, НИР, грантов, что, по нашему мнению, явно недостаточно (рис. 5).

Разработка методологической схемы получения функциональных ЭИЛ-покрытий. На рисунках 6, 7 представлены упрощенная и развернутая методологические схемы получения ЭИЛ-покрытий на ИП деталей машин, соответствующие седьмому уровню разработки методологии подразделов в науке о материалах (рис. 2).

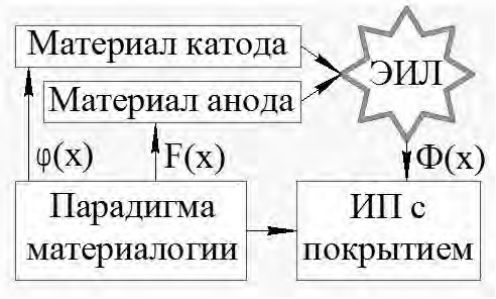


Рис. 6. Упрощенная методологическая схема получения ЭИЛ-покрытий ИП деталей

Из упрощенной схемы видно, что решению функциональной задачи «ЭИЛ» $\Phi_{(X)}$ (технология ЭИЛ) получения ИП с покрытием деталей предшествуют решения двух параллельно связанных функциональных задач $\varphi_{(X)}$ и $F_{(X)}$ создания или выбора и использования материалов катода и анода, соответственно. Формулировка задач $\varphi_{(X)}$ и $F_{(X)}$ базируется на парадигме материалогии, результаты решения сходятся на этапе ЭИЛ-технологии.

Более подробно исходные ветви $\Phi_{(X)}$, $F_{(X)}$ и $\varphi_{(X)}$ (рис. 6) и их производные функциональные взаимосвязи раскрыты звеньями Ф (рис. 7) основной ветви (звенья 1Ф-5Ф) создания ИП деталей с покрытием. Эти звенья получены посредством преобразования связей составляющих звеньев ($\Phi_{(фн)} \rightarrow$ Ф(1-5)$\rightarrow \Phi_{(св)}$), а также связей двух производных ветвей $F_{(1-6)}$ и $\varphi_{(1-6)}$. Каждая из производных ветвей имеет сложный набор собственных взаимосвязей функциональных параметров $F_{(1-6)}$, $\varphi_{(1-6)}$ и их комбинаций, требующих создания специальных условий для осуществления технологий, предшествующих ЭИЛ-технологии получения покрытия. Реализация основной ветви функ-

циональных связей звеньев Ф (1Ф-5Ф) осуществляется по общей схеме пятизвенной парадигмы: «ФН → состав →технология → структура→ свойства» и является результирующей. На ней сходятся итоги осуществления процессов производных ветвей связей звеньев (2F-6F и звеньев 2φ-6φ). Указанные производные связи звеньев содержат технологии получения анодного материала с требуемой структурой и свойствами электрода $F_{(1-5)}$ и материала основы детали (катода) $\varphi_{(1-5)}$. В результате реализации связей $F_{(1-5)}$ и $\varphi_{(1-5)}$ образуются звенья 6F и 6φ, обладающие необходимыми для осуществления ЭИЛ-технологии (звено 2Ф) свойствами $\Phi_{(а)}$ и $\Phi_{(к)}$ при формировании ЛС.

Рис. 7. Развернутая методологическая схема получения ЭИЛ-покрытий на ИП деталей машин

Следует отметить, что функционально защитное покрытие после финишной обработки детали (совокупность звеньев $\Phi_{(с)}$, $\Phi_{(ст)}$, $\Phi_{(св)}$) является ее исполнительной поверхностью (ИП), которая в дальнейшем при эксплуатации подвергается различному воздействию (механическому, тепловому, химическому). ИП деталей машин (например, поверхности рабочих органов по переработке растительного сырья) подвергаются переменным ударным, тепловым и силовым нагрузкам, сложным физико-химическим процессам, микропроцессам в зоне резания, что ведет к их изнашиванию и затуплению. Они воспринимают экстремальные нагрузки в отличие от поверхности ориентирования деталей (основных конструкторских баз) и их свободных поверхностей, не требующих особых свойств. Поэтому для выбранного материала той или иной детали при уточнении $\Phi_{(а)}$ и $\Phi_{(1-2)}$ может формулироваться задача создания свойств покрытия $\Phi_{(св)}$, требующих перехода от обычных свойств материала детали к повышенным свойствам поверхности воздействия, работающей в экстремальных условиях.

В идеальном случае для каждого покрытия, в соответствии с его функциональным назначением и условиями эксплуатации, существует только одно оптимальное соотношение свойств. При этом стремятся свойства от обычных значений основы постепенно, плавно усиливать до требуемых функциональных значений исполнительной поверхности воздействия. Функ-

циональные взаимосвязи $\Phi_{1\text{-}5}$ реализуются через ряд других взаимосвязей и зависят, в первую очередь, от получения состава $\Phi_{2\text{-}3}$ и структуры $\Phi_{2\text{-}4}$ покрытия, определяемых взаимосвязями «ФНМ ИП детали → состав ЛС» и «ФНМ ИП детали → структура ЛС». Успех выбора прогнозируемых свойств, формирования связи $\Phi_{(2\text{-}5)}$ и $\Phi_{(св)}$ зависит от формулировки и уточнения условий эксплуатации покрытия, имеющегося банка научных данных, глубины анализа и осуществления технологии во взаимосвязи звеньев всех трех ветвей: Ф, F, φ, и, в первую очередь, от получения звеньев 3Ф и 4Ф посредством преобразования связей $\Phi_{(2\text{-}3)}$, $\Phi_{(с)}$ и $\Phi_{(2\text{-}4)}$, $\Phi_{(ст)}$ – получения состава и структуры ЛС.

Завершение реализации связей $\Phi \rightarrow \Phi_{(1\text{-}2)} \rightarrow \Phi_{(2\text{-}5)} \rightarrow \Phi_{(св)}$ и окончательное формирование $\Phi_{(с)}$ состава и структуры $\Phi_{(ст)}$ ИП деталей с ЭИЛ-покрытием осуществляется через включение в технологию основной ветви двух новых замыкающих звеньев производных ветвей $F_{(1\text{-}6)}$ (анодный материал электрода) и $\varphi_{(1\text{-}6)}$ (катодный материал детали). Эти связи участвуют в технологическом процессе, который преобразует через $\Phi_{(2\text{-}3)}$ и $\Phi_{(2\text{-}4)}$ прогнозируемые состав и структуру (звенья $3_Ф$ и $4_Ф$) и обеспечивает реальные свойства детали с покрытием, достигаемые связями $\Phi_{(2\text{-}5)}$, $\Phi_{(св)}$ замыкающих звеньев $2_Ф$ и $5_Ф$ («ЭИЛ – технология – свойства»). Создание защитных покрытий на ИП детали приводит к необходимости проектирования как основной исходной связи *Ф*, так и новых производных связей $F_{1\text{-}6}$ и $\varphi_{1\text{-}6}$ для формирования новых требуемых материалов покрытий звеньев 6_F, 6_φ). Указанные взаимосвязи требуют фундаментального научного изучения, создания обоснованных научных рекомендаций, позволяющих назначать исходный состав материалов и выбор технологии покрытий. Во всех случаях изучение, отработка и практическая реализация связей *Ф* параметров технологии при создании защитных покрытий деталей является производной от исходного звена взаимосвязей $\Phi_{(фн)}$. Отметим важную роль звена $2_Ф$ (ЭИЛ-технология), что обусловлено конечным формированием требуемых свойств покрытий $\Phi_{(св)}$ при наличии значительной номенклатуры пока еще не установленного полного перечня параметров технологического процесса ЭИЛ. При создании защитных покрытий данным методом особая роль отводится реализации связи $\Phi_{2\text{-}5}$, которая осуществляется на заключительном этапе, ответственном за формирование конечного качества $\Phi_{(св)}$ ЛС, и ему подчинена реализация всех предшествующих взаимосвязей: $F_{(1\text{-}6)}$, $\varphi_{(1\text{-}6)}$, $\Phi_{(2\text{-}5)}$.

Появление сведений о многослойных покрытиях на основе нитридов, карбидов, боридов и других соединений тугоплавких металлов, а также с подслоями из чистых металлов – Ti, Ni, Cr, Mo, формируемых методами ФОП и ХОП, подтверждает перспективность проведения исследований в направлении использования связей φ и F с применением метода ЭИЛ.

Приведенная методологическая схема создания новых защитных покрытий может быть применена также к имеющим широкое распространение покрытиям методами ФОП и ХОП и другим.

Выводы

1. Разработаны основные методологические положения упрочнения и восстановления исполнительных поверхностей различных объектов из токопроводящих материалов методом ЭИЛ с учетом их функционального назначения.

2. Показана важная роль материала анода во взаимосвязи с материалом катода в процессе создания функциональных покрытий.

Библиографический список

1. Spadło S. Comparative studies of brush electrodischarge machining with electrodes of alloy steel and tungsten. Advanced Manufacturing Systems and Technology, International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Courses and Lectures. New York: Springer – Veralag Wien. 2002. N437. 515-524.

2. Radek N., Bartkowiak K. Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam. Physics Procedia. 2010. N5. 417-423.

3. Chang-bin T., Dao-xin L., Zhan W., Yang G. Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical applications. J. Applied Surface Science. 2011. N257. 6364-6371.

4. Verbitchi V., Ciuca C., Cojocaru R. Electro-spark coating with special materials. Nonconventional Technologies Review. 2011. N1. 57-62.

5. Xie Y.J., Wang M.C., Huang D.W. Comparative study of microstructural characteristic of electrospark and Nd: YAG laser epitaxially growing coatings. J Applied Surface Science. 2007. N253 (14). 6149-6156.

6. Ribalko A.V., Sahin O. The use of bipolar current pulses in electro spark alloying of metal surfaces. Surface & Coatings Technology. 2003. N168. 129-135.

7. Николенко С.В., Верхотуров А.Д. Новые электродные материалы для электроискрового легирования. Владивосток: Дальнаука. 2005. 219 с.

8. Zamulaeva E.I., Levashov E.A., Skryleva E.A., Sviridova T.A., Kiryukhantsev-Korneev Ph.V. Conditions for formation of MAX phase Cr2AlC in electrospark coatings deposited onto titanium alloy. Surface & Coatings Technology. 2016. N298. 15-23.

9. Михайлов В.В., Бачу К.А., Пасинковский Е.А., Перетятку П.В. К вопросу электроискрового легирования титана и его сплавов // Электронная обработка материалов. 2006. N3. 106-111.

10. 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.

11. Верхотуров А.Д., Шпилев А.Н., Коневцов Л.А. Предмет исследования, концептуальные и методологические основы становления и развития материалогии // Химическая технология. 2008. N5. С.197-204.

12. Верхотуров А.Д., Шпилев А.М., Евстигнеев А.И. Основы материалогии. Т. 1. Владивосток: Дальнаука. 2012. 654 с.

13. Верхотуров А.Д., Макиенко В.М., Иванов В.И., Коневцов Л.А. О методологии нового этапа в развитии науки о материалах – материалогии // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 119. С. 250-263.

14. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Макиенко В.М., Коневцов Л.А. О методологии материаловедения и ее разделов для устойчивого развития дальневосточного региона // Социальные и гуманитарные науки на Дальнем Востоке. 2015. N46 (2). С. 153-160.

15. Верхотуров А.Д., Гитлевич А.Е., Михайлов В.В. Борис Романович Лазаренко – автор выдающихся открытий в технике XX века. Ученый и организатор науки (к 100-летию со дня рождения). Электронная обработка материалов. 2011. N47 (1). С. 116-147.

16. Верхотуров А.Д., Козырь В.А., Коневцов Л.А. Научные основы разработки и получение слоистых материалов на поверхности твердых сплавов: монография. Владивосток: Дальнаука. 2016. 475 с.

References

1. Spadło S. Comparative studies of brush electrodischarge machining with electrodes of alloy steel and tungsten. Advanced Manufacturing Systems and Technology, International

Center for Mechanical Sciences (CISM), Courses and Lectures. New York: Springer – Veralag Wien. 2002. N437. 515-524.

2. Radek N., Bartkowiak K. Performance properties of electrospark deposited by carbide-ceramic coatings modified by laser beam. Physics Procedia. 2010. N5. 417-423.

3. Chang-bin T., Dao-xin L., Zhan W., Yang G. Electrospark alloying using graphite electrode on a titanium alloy surface for biomedical applications. J. Applied Surface Science. 2011. N257. 6364-6371.

4. Verbitchi V., Ciuca C., Cojocaru R. Electro-spark coating with special materials. Nonconventional Technologies Review. 2011. N1. 57-62.

5. Xie Y.J., Wang M.C., Huang D.W. Comparative study of microstructural characteristics of electrospark and Nd: YAG laser epitaxially growing coatings. J Applied Surface Science. 2007. N253 (14). 6149-6156.

6. Ribalko A.V., Sahin O. The use of bipolar current pulses in electro spark alloying of metal surfaces. Surface & Coatings Technology. 2003. N168. 129-135.

7. Nikolenko S.V., Verkhoturov A.D. New electrode materials for electrospark alloying. Vladivostok: Dal'nauka. 2005. 219.

8. Zamulaeva E.I., Levashov E.A., Skryleva E.A., Sviridova TA, Kiryukhantsev-Korneev Ph.V. Conditions for the formation of MAX phase Cr2AlC in electrospark coatings deposited onto titanium alloy. Surface & Coatings Technology. 2016. N298. 15-23.

9. Mikhailov V.V., Bachu K.A., Pasinkovsky E.A., Peretyatku P.V. On the issue of electrospark doping of titanium and its alloys. Electronic material processing. 2006. N3. 106-111.

10. Burumkulov F.H., Lezin P.P., Senin P.V., Ivanov V.I., Velichko S.A., Ionov P.A. Electrospark technologies for the restoration and hardening of machine parts and tools (theory and practice). Saransk: Red October. 2003. 504.

11. Verkhoturov A.D., Shpilev A.N., Konevtsov L.A. The subject of the study, the conceptual and methodological foundations of the development and development of materials. Chemical Technology. 2008. N5. 197-204.

12. Verkhoturov A.D., Shpilev A.M., Evstigneev A.I. Fundamentals of Material Science. Vol. 1. Vladivostok: Dal'nauka. 2012. 654.

13. Verkhoturov A.D., Makienko V.M., Ivanov V.I., Konevtsov L.A. On the methodology of a new stage in the development of the science of materials - materials. Proceedings of GOSNITI. 2015. Vol. 119. 250-263.

14. Verkhoturov A.D., Voronov B.A., Makienko V.M., Konevtsov L.A. On the methodology of materials science and its sections for the sustainable development of the Far Eastern region. Social and human sciences in the Far East. 2015. N46 (2). 153-160.

15. Verkhoturov A.D., Gitlevich A.E., Mikhailov V.V. Boris Romanovich Lazarenko is the author of outstanding discoveries in the technique of the twentieth century. Scientist and organizer of science (on the occasion of the 100th anniversary of the birth). Of the electronic processing of materials. 2011. N47 (1). 116-147.

16. Verkhoturov AD, Kozyr VA, Konevtsov L.A. Scientific foundations of development and production of layered materials on the surface of solid alloys: monograph. Vladivostok: Dal'nauka. 2016. 475.

УДК 621.9.047

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ХРОМА

Сергей Юрьевич Жачкин[1], доктор технических наук, профессор, e-mail: zhach@list.ru;
Никита Алексеевич Пеньков[2], кандидат технических наук
[1]Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация
[2]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская Федерация

Реферат. *Рассмотрели теоретические аспекты процесса нанесения композитных гальванических покрытий на основе хромовой матрицы на токопроводящие поверхности методом гальваноконтактного осаждения. Исследования основаны на предположении о незначительном давлении инструмента на восстанавливаемую поверхность в сравнении с прочностными показателями наносимого покрытия. Предложенный набор допущений позволяет провести количественный анализ дефектов обработки поверхностей цилиндрических тел. (Цель исследования) Получение гальванических композитных покрытий с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. (Материалы и методы) Рассмотрели модель статистической прочности, учитывающую взаимное влияние пластических и хрупких свойств материала. Привели аналитические зависимости, связывающие параметры физико-механических характеристик покрытия с технологическими режимами осаждения покрытий и конструктивными особенностями оборудования, используемого в процессе. (Результаты и обсуждение) Представили порядок расчета предельных напряжений, являющихся причиной износа трущихся поверхностей деталей машин. Провели анализ зависимости прочностных характеристик наносимого покрытия от физико-механических показателей композитного покрытия на основе хрома. Выявили, что сопоставление экспериментальных данных о значениях опасных напряжений в полученном композитном покрытии с данными расчета по критерию Мора показали удовлетворительную степень сходимости с уровнем значимости 0,05. (Выводы) Предложенная методика расчета напряжений, возникающих в осажденном композитном покрытии, позволяет прогнозировать величину касательных и нормальных напряжений, при достижении которых нанесенный слой композитного покрытия испытывает разрушение.*

Ключевые слова: *предел прочности, износостойкость, аппроксимация кривой, предельное сопротивление отрыву.*

Для цитирования: *Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. Обеспечение износостойкости композитных покрытий на основе хрома // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 170-176.*

ENSURING WEAR RESISTANCE OF COMPOSITE COVERINGS ON THE BASIS OF CHROME

Sergey Yu. Zhachkin[1], Dr.Sc(Eng.), professor, e-mail: zhach@list.ru;
Nikita A. Penkov[2], Ph.D.(Eng.)
[1]Voronezh state technical University», Voronezh, Russian Federation;
[2]Military educational scientific center Air Force «Air Force academy name of Professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation

Abstract*. Considered theoretical aspects of process of putting composite electroplated coatings on the basis of a chromic matrix on conducting surfaces by method of galvanokontaktny sedimentation. Researches are based on the assumption of the insignificant pressure of the tool upon the restored surface in comparison with strength indicators of the put covering.. The offered set of assumptions allows to carry out the quantitative analysis of defects of processing of surfaces of cylindrical bodies. (Purpose of research) The study of the process by production of galvanic composite coatings with predetermined physical and mechanical and operational properties. (Materials and methods) Considered the model of statistical durability considering mutual influence of plastic and fragile properties of material. Gave the analytical dependences connecting parameters of physicomechanical characteristics of a covering with the technological modes of sedimentation of coverings and design features of the equipment used in process. (Results and discussions) The procedure for calculating the maximum stresses that cause wear of rubbing surfaces of machine parts is described. The analysis of the dependence of the strength characteristics by the coating on the physical and mechanical properties from the composite coating based on chromium is carried out. Comparison of the experimental data on the values of dangerous stresses in the obtained composite coating with the calculation data on the Mohr criterion showed a satisfactory degree of convergence with the significance level of 0.05. Summary. The proposed method of calculating the stresses arising in the deposited composite coating makes it possible to predict the magnitude of the tangential and normal stresses. This stresses in layer under consideration of the composite coating can be destructive.*

Keywords: *tensile strength, wear resistance, curve fitting, ultimate tear-off resistance.*

For citation: *Zhachkin S. Yu., Penkov N.A. Ensuring wear resistance of composite coverings on the basis of chrome. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 170-176.*

Введение. Одним из определяющих факторов качества гальванических покрытий является износостойкость [1, 3]. Под износостойкостью понимают сопротивление материалов, деталей машин и других трущихся изделий изменению размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя при трении.

Механизм разрушения верхнего слоя композитного покрытия можно рассматривать как совокупность действия статических касательных и нормальных напряжений, приводящих к возникновению микротрещин. Последние выступают в роли концентраторов напряжений. Как правило в этих местах и происходит микроразрушение материала. Совокупность таких деформаций приводит к изнашиванию трущихся поверхностей [2, 5].

Цель исследования – получение гальванических композитных покрытий

с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Авторами предложена модель, которая является детерминированной и схематизирует сложный процесс разрушения, зависящий от действующих напряжений, свойств материала, а также характера нагружения. В таком типе модели действующие напряжения и характеристики материала имеют вполне определенные значения.

При этом рассматривали наиболее опасные расчетные случаи, когда действующие напряжения имеют максимальные значения, а характеристики материала соответствуют нижним границам заявленных физико-механических параметров получаемого покрытия. При построении модели разрушения композитного хромового покрытия авторы исходили из позиции о представлении нанесенного слоя в виде хрупкого материала. Таким образом приходилось учитывать разрушение путем отрыва. Разделение материалов на пластичные и хрупкие по результатам опытов на простое растяжение не является исчерпывающим. При всестороннем растяжении пластичный материал ведет себя как хрупкий; при всестороннем сжатии хрупкий материал проявляет пластические свойства [6-10]. Предлагаемая модель статистической прочности учитывает взаимное влияние двух механизмов разрушения и потому справедлива как для хрупких, так и для пластичных материалов.

Материалы и методы. Для расчета использовали критерий Мора. Предположили, что в момент разрушения в опасной площадке величина касательного напряжения зависит от величины и знака, действующего в этой площадке нормального напряжения:

$$\tau_M = f(\sigma_M). \quad (1)$$

В качестве опасной площадки приняли площадку с максимальными касательными напряжениями:

$$\tau_M = \tau_{max},$$

$$\sigma_M = \sigma_{\tau max} \quad (2)$$

Для напряженного состояния в общем случае будем иметь:

$$\begin{cases} \tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3); \\ \sigma_{\tau max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3), \end{cases} \quad (3)$$

Здесь σ_1 и σ_3 – наибольшее и наименьшее главные напряжения.

Прочность в этом случае не зависит от промежуточных главных напряжений. Кривая предельных напряжений представлена на рисунке 1.

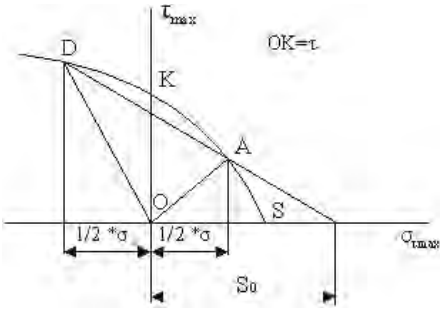


Рис. 1. Кривая предельных напряжений в плоскости (σ_{max}; τ_{max})

Точка *A* соответствует одноосному растяжению, точка *D* – одноосному сжатию, точка *K* – чистому кручению. В первом приближении предельная кривая усредняется прямой линией:

$$\tau_{max} = a_1\sigma_{\tau_{max}} + a_0 \quad (4)$$

Прямая, проведенная через точки *A* и *D*, дает наиболее полную аппроксимацию. Поскольку угол AOS равен ϖ/4, а угол DOA – ϖ/2, то для точек *A* и *D* будем иметь:

$$\begin{cases} \frac{1}{2}\sigma_b = \frac{1}{2}a_1\sigma_b + a_0, \\ \frac{1}{2}\sigma_{сж} = \frac{1}{2}a_1\sigma_{сж} + a_0; \end{cases} \quad (5)$$

где σ_b – предел прочности, $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии (значение сжимающих напряжений в момент разрушения). Решая систему уравнений (5) относительно неизвестных a_0 и a_1, получаем:

$$\begin{cases} a_0 = \frac{\sigma_b\sigma_{сж}}{\sigma_b+\sigma_{сж}}, \\ a_1 = \frac{\sigma_b-\sigma_{сж}}{\sigma_b+\sigma_{сж}}; \end{cases} \quad (6)$$

В этом случае уравнение аппроксимации (4) с учетом (3) примет вид:

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_b}{\sigma_{сж}}\sigma_3 = \sigma_b \quad (7)$$

При $\tau_{max} = 0$ из (4) получим предельное сопротивление отрыву S_0, которое будет можно вычислить по формуле:

$$S_0 = -\frac{a_0}{a_1} = \frac{\sigma_{сж}\sigma_b}{\sigma_{сж}-\sigma_b}. \quad (8)$$

Предел прочности на срез в этом случае составит:

$$\tau_b = a_0. \quad (9)$$

Экспериментальную проверку полученных теоретических положений проводили на образцах цилиндрической формы диаметром 40 мм и длиной 65 мм, изготовленных из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71, внешний вид которых представлен на рисунке 2.

Исследовали технологический процесс получения износостойких гальванических композитных покрытий на основе хрома с толщиной наносимого слоя на наружные цилиндрические поверхности до 40 мкм. При этом получаемое покрытие должно было обладать остаточными сжимающими напряжениями, высокими эксплуатационными и физико-механическими свойствами, а также коррозионной стойкостью.

Осевые остаточные напряжения в хромовых покрытиях определяли методом электротензометрирования, причем сам процесс проходил при непрерывном стравливании напряженных слоев с исследуемой поверхности на установке [1]. Указанная установка предназначена для измерения относительных деформаций и состоит из тензометрического усилителя 8АНЧ-7М и самопишущего потенциометра КСП-4. Первичными преобразователями служили тензорезисторы 2ФКПА-10-200 В.

Рис. 2. Образец для исследований

Остаточные напряжения (МПа) в исследуемом слое представляли в виде суммы:

$$\sigma_x = \sigma_{хв} + \sigma_{хс}, \quad (10)$$

где $\sigma_{хв}$ – линейная составляющая, определяемая по деформации образца при вырезке из детали, МПа;

$\sigma_{хс}$ – нелинейная составляющая, вычисляемая по кривой деформации при стравливании образца на глубину наносимого слоя, МПа.

В ходе измерения линейной составляющей пренебрегали в связи с тем, что глубина поверхностного слоя много меньше толщины исследуемого образца. Нелинейную часть остаточных напряжений вычисляли по формуле, приведенной в работе [4]. Кольца из стали 30ХГСА с нанесенными на них покрытиями вырезали из трубчатых образцов электроэрозионным методом. На поверхность, противоположную исследуемой, клеем «Циакрин-30» наклеивали тензодатчик.

Рис. 3. Рентгеноструктурный дифрактометр Дрон-3

Пчелиным воском защищали поверхности, не подлежащие травлению; исследуемую поверхность обезжиривали бензином. Исследованию подвергали кольца с хромовым покрытием толщиной до 40 мкм. Удаление напряженных слоев осуществляли в электролите следующего состава: 67% ортофосфорной кислоты (уд. вес = 1,56 г/см^3), 33% серной кислоты (уд. вес 1,24

г/см^3), 50 г/л хромового ангидрида. Режим электрохимического травления: плотность тока – 10 А/дм^2, температура электролита – 293°К [1]. Величину стравливаемого слоя определяли весовым методом. После вышеописанных действий, осуществляли контрольное измерение остаточных напряжений методом рентгеноструктурного анализа на рентгеноструктурном дифрактометре Дрон-3 (рис. 3).

Результаты и обсуждение. Апробация полученных результатов в производственных условиях показала совпадение экспериментальных данных с данными, рассчитанными по предложенной модели. На рисунке 4 представлены теоретические и экспериментальные данные по исследованию остаточных напряжений, формируемых в гальваническом композитном покрытии на основе хромовой матрицы. Видно, что точность модели удовлетворяет параметрам качества моделей при уровне значимости p = 0,05.

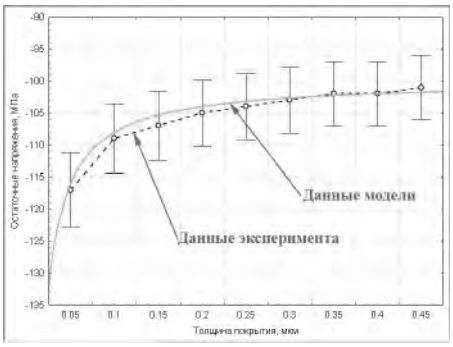


Рис. 4. Проверка работоспособности модели

Это подтверждает правомерность принятой научной гипотезы, выдвинутой и доказанной в настоящей работе.

Выводы. Предлагаемая в рамках проведенного исследования модель статистической прочности позволяет производить расчет напряжений, возникающих в осажденном композитном покрытии, а также прогнозировать величину касательных и нормальных напряжений, при достижении которых нанесенный слой композитного покрытия испытывает разрушение.

Библиографический список

1. Жачкин С.Ю. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей. / Воронеж: Воронежский государственный технический университет имени Императора Петра I. 2002. 138 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Симонова Ю.Э. Интегрирование технологии газопламенного напыления с электроискровым легированием для повышения эксплуатационной надежности сельхозмашин //Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 117. С. 191-196.

3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука. 1976. Т.1. 536 с.

4. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Краснов А.И., Манаенков К.А. Аналитическая оценка свойств дисперсно-упрочненных гальванических композитных многослойных покрытий. Мичуринск: Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. N1. С. 142-150.

5. Вопросы теории хромирования // Под ред. Вишомирскиса Р., Матулиса Ю. Вильнюс: Государственное изд-во политической и научной литературы Литовской ССР. 1959. 194 с.

6. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. Модернизация методики измерения прочности

сцепления электролитических покрытий с основой // / Материалы международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения». Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I. 2017. С. 40-43.

7. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.A. The technical definition of perma-nent dispersion-strengthened composite multilayer galvanic coatings. Australian journal of education and science. 2018. Vol. XI. N1 (21). 238-253.

8. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.A. Determination of the elastic mod-ulus of the composite dispersion-strengthened galvanic coatings // Engineering studies. 2018. Iss. 3(2). Vol. 10. 729-737.

9. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.N. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings. Engineering studies. 2017. Vol. 9. Iss. 3(2). 529-536.

10. Пеньков Н.А., Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И. Применение технологии плазменного напыления для повышения надежности сельхозмашин // Наука в центральной России. 2017. N4 (28). С. 131-136.

References

1. Zhachkin S.Yu. Cold galvanotecnical restoration of parts Voronezh: Voronezh state technical university of a name of the Emperor Peter I. 2002. 138.

2. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Simonova Yu.E. Integrating technology flame spraying with electric-spark alloying to increase the operational reliability of farm machinery news. Proceedings of GOSNITI. 2014. Vol. 117. 191-196.

3. Sedov L.I. Continuum mechanics. Moscow: Science. 1976. Vol. 1. 536.

4. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnov A.I., Manaenkov K.A. Analytical evaluation of the properties of dispersion-hardened galvanic composite multilayer coatings. Michurinsk: Bulletin of Michurinsk state agricultural university. 2015. N1. 142-150.

5. Problems in the theory of chromium plating. Ubder the edit. Vishomirskis R., Matulis Yu. Vilnius: State. publishing house of political and scientific literature of the Lithuanian SSR. 1959. 194.

6. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A. Modernization of the method of measuring the adhesion strength of electrolytic coatings to the substrate. Materials of the international scientific and practical conference «Improving the efficiency of mobile energy in different modes of movement». Voronezh: Voronezh state technical university of a name of the Emperor Peter I. 2017. 40-43.

7. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.A. The technical definition of perma-nent dispersion-strengthened composite multilayer galvanic coatings. Australian journal of education and science. 2018. Vol. XI. N1 (21). 238-253.

8. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.A. Determination of the elastic mod-ulus of the composite dispersion-strengthened galvanic coatingsEngineering studies. 2018. Iss. 3(2). Vol. 10. 729-737.

9. Zhachkin S.Yu., Penkov N.A., Krasnova M.N. Wear-resistance of composite galvanic chrome coatings. Engineering studies. 2017. Vol. 9. Iss. 3 (2). 529-536.

10. Shacking S.Yu., Penkov N.A., Trifonov G.I. Application of plasma spraying technology to improve the reliability of agricultural machinery Science in Central Russia. 2017. N4 (28). 131-136.

УДК 621.792

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Анатолий Валентинович Чавдаров, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: info@firma-tom.ru;
Алексей Александрович Толкачев, младший научный сотрудник;
Денис Игоревич Скоропупов, ведущий инженер,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Холодное газодинамическое напыление широко применяют в развитых капиталистических странах для повышения эксплуатационных характеристик изделий и выполнения ремонтно-восстановительных работ. (Цель исследования) Определить наиболее перспективные направления использования холодного газодинамического напыления в России. (Материалы и методы) Использовали для исследования портативную установку ДИМЕТ-403. Предложили при помощи метода холодного газодинамического напыления «выращивать» детали по компьютерным моделям на силовой установке.. Выявили, что данный способ не только обеспечит экономию средств при обслуживании техники, но и значительно снизит стоимость ее первоначального производства. (Результаты и обсуждение) Показали преимущества холодного газодинамического напыления по сравнению с традиционными методами нанесения металлических порошков. Привели примеры его использования: коррозионная защита сварных швов в глушителе, ремонт рабочих поверхностей шестерен, заделка сколов и трещин в головке блока цилиндров, восстановление наружной поверхности вала, авиастроение. Отметили, что созданные путем 3D-печати изделия оказались гораздо прочнее и имеют более низкую стоимость. (Выводы) Холодное газодинамическое напыление широко применяют для восстановления и упрочнения поверхности изделий сложных форм; в ремонте деталей с мелкими трещинами; для восстановления деталей, подвергающихся термическому воздействию не выше 100-150 градусов Цельсия; нанесения жаростойкого покрытия на «нежаростойкие» металлы.*

Ключевые слова: *холодное газодинамическое напыление (ХГДН), ремонтное производство, газотермические методы, адгезия, аддитивные технологии, 3D-печать.*

Для цитирования: *Чавдаров А.В., Толкачев А.А., Скоропупов Д.И. Применение газодинамического напыления в ремонтном производстве // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 177-182.*

THE USE OF GAS-DYNAMIC SPRAYING IN THE REPAIR PRODUCTION

Anatoly V. Chavdarov, Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: info@firma-tom.ru;
Alexey A. Tolkachev, junior researcher; Denis I. Skoropupov, lead engineer
Federal scientific agroengineering center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Cold gasdynamic dusting is widely applied in the developed capitalist countries to increase in operational characteristics of products and performance of rescue and recovery operations. (Purpose of research) To define the most perspective directions of use of cold gasdynamic dusting in Russia. (Materials and methods) Used portable DIMET-403 installation for a research. Offered by means of a method of cold gasdynamic dusting «to grow up» details on computer models on the power plant. Revealed that this way not only will provide economy of means at service of the equipment, but also considerably will reduce the cost of its initial production. (Results and discussions) Showed advantages of cold gasdynamic dusting in comparison with traditional methods of putting metal powders. Gave examples of its use: corrosion protection of weld joints in the muffler, repair of working surfaces of gear wheels, seal of chips and cracks in a head of the block of cylinders, restoration of an external surface of a shaft, aircraft industry. Noted that created in the way 3D - the seals of a product were much stronger and cost cheaper. (Conclusions). Cold gasdynamic dusting is widely applied to restoration and hardening of a surface of products of irregular shapes; under repair details with small cracks; for restoration of the details which are exposed to thermal influence it is not above 100-150 °C; drawings a heat-resistant covering on «not heat-resistant» metals.*

Keywords: *«cold» gas-dynamic spraying (HGDN), repair production, gas-thermal methods, adhesion, additive technologies, 3D-the press.*

For citation: *Chavdarov A.V., Tolkachyov A.A., Skoropupov D.I. The use of gas-dynamic spraying in the repair production. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 177-182.*

Введение. Среди отечественных предприятий, изучающих и применяющих технологии холодного газодинамического напыления (ХГДН), наиболее известны ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ГКНПЦ им. Хруничева, ВИАМ, МГАУ им. Горячкина, ОЦПН, ИТПМ, Рязанский ВАИ, Центр судоремонта «Звездочка» и другие. Из зарубежных предприятий наиболее широко метод ХГДН используют в США, выполняя заказы в соответствии со стандартом MIL-STD-3021 от 04.08.2008 «MATERIALS DEPOSITION, COLD SPRAY» (компании ASB Industries, Ktech, Army Research Lab, Inovati), а также в других стран: Helmut Schmidt University (Германия), CSIRO (Австралия). Ecole de Mines (Франция), Windsor University (Канада), Tampere University of Technology (Финляндия) [1-7].

Учитывая преимущества и специфику метода ХГДН, основными направлениями исследований и разработок указанных предприятий стали, во-первых, нанесение покрытий для повышения эксплуатационных характеристик изделий, а во-вторых, проведение ремонтно-восстановительных работ как на специализированных площадках предприятия, так и в полевых или походных условиях.

ХГДН относится к газотермическим методам нанесения покрытий.

В наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий (газопламенное напыление, электродуговая металлизация, плазменное напыление) для формирования покрытия необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели температуру выше температуры плавления материала. В газодинамической технологии напыления это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность [8]. В данном

случае с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии и отличающиеся очень высокой скоростью.

ХГДН обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами нанесения металлических покрытий. Эти преимущества состоят в следующем:

- покрытие наносится в воздушной среде при нормальном давлении, при любых значениях температуры;
- возможность нанесения многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по его толщине;
- минимальное тепловое воздействие на покрываемое изделие (изделие в зоне нанесения покрытия не нагревается выше 100-150 °С), что исключает возникновение внутренних напряжений в изделиях и их деформацию;
- поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение, что позволяет в отличие от традиционных газотермических методов напыления наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;
- возможность нанесения различных типов покрытий с помощью одной установки;
- путем простой смены технологического режима оборудование позволяет проводить струйно-абразивную обработку поверхностей для последующего нанесения покрытий или достижения декоративного эффекта;
- оборудование отличается компактностью, мобильностью, технически доступно практически для любого промышленного предприятия, может встраиваться в автоматизированные линии, не требует высококвалифицированного персонала для своей эксплуатации;
- возможность использования оборудования не только в стационарных, но и в полевых условиях.

Рекомендуют использовать процесс газодинамического напыления для восстановления и упрочнения поверхности изделий перспективно [9].

Цель исследования – определить наиболее перспективные направления использования ХГДН в России.

Наибольшее распространение получила портативная установка ДИМЕТ-403 производства ОЦПН (рис. 1).

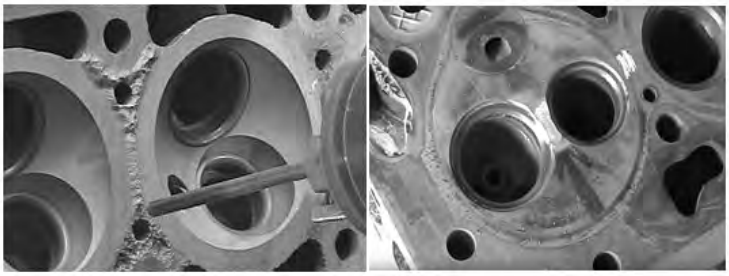
Рис. 1. Портативная установка ДИМЕТ-403

Примеры использования ХГДН в ремонтном производстве наглядно показаны на рисунках 2-5.

Российские и французские ученые представили разработку, которая, как отмечают авторы, сулит «революцию в авиастроении» [10].

Рис. 2. Глушитель до и после нанесения покрытия ХГДН

Рис. 3. Ремонт рабочих поверхностей шестерен



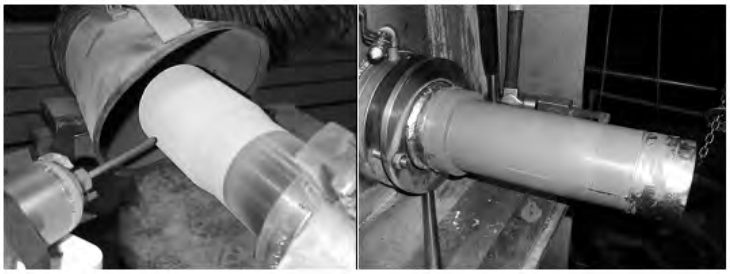


Рис. 5. Восстановление наружной поверхности вала

Речь идет о модернизации авиационного двигателя – самого дорогого элемента самолета. Проект, разработанный в стенах Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), позволяет проводить ремонт силовых установок, не прибегая к замене деталей.

Материалы и методы. Для исправления повреждений ученые предлага-

ют использовать аддитивные технологии или 3D-печать. Данный способ не только обеспечит экономию средств при обслуживании самолетов, но и значительно снизит стоимость первоначального производства авиадвигателей.

Специалисты НИТУ «МИСиС» и Лионского университета взяли за основу метод ХГДН. Новый проект подразумевает использование ХГДН для «выращивания» деталей по компьютерным моделям на силовой установке. Главное преимущество такого метода заключается в том, что он не требует термического воздействия. Использование сварки могло негативно сказаться на прочностных характеристиках аппарата, а для ХГДН не нужен нагрев металла. При помощи 3D-моделирования специалисты смогут «выращивать» поврежденную деталь до ее первоначального вида.

Результаты и обсуждение. Новый метод можно использовать не только для ремонта силовых установок, но и для их производства. Например, разработка первого «тяжелого» авиадвигателя ПД-35 в какой-то момент застопорилась из-за потребности в создании жаропрочного корпуса диаметром 2 метра и крупногабаритных титановых элементов. Традиционным методом литья выполнить такую задачу было невозможно. Зато образцы из НИТУ «МИСиС», созданные путем 3D-печати, оказались гораздо прочнее и дешевле запланированных.

Выводы. ХГДН нашло широкое применение для восстановления и упрочнения поверхностей различных деталей.

Наиболее перспективные направления использования ХГДН – это ремонт изделий сложной формы; восстановление деталей, подвергающихся термическому воздействию не выше 100-150 °С; нанесение жаростойкого покрытия на «нежаростойкие» металлы; ремонт изделий с наличием небольших локальных повреждений (мелких трещин, сколов); авиастроение.

Библиографический список

1. Spencer K., Fabijanic D.M., Zhang M.-X. The use of Al-Al2O3 cold spray coatings to improve the surface properties of magnesium alloys. Surface & Coatings Technology. 2009. Vol. 204. N3. 336-344.

2. Mondol D.P., Das S., Jha A.K., Yegneswaren A.H. Abrasive wear of Al alloy- Al2O3 particle composite: a study on the combined effect of load and size abrasive. Wear. 1998. N233. 131-138.

3. Hodder K.J., Izadi H., McDonald A.G., Gerlich A.P. Fabrication of aluminum – alumina metal matrix composites via cold gas dynamic spraying at low pressure followed by friction stir processing. Materials Science & Engineering. 2012. Vol. 556. 114-121.

4. Roknia M.R., Widenera C.A., Nardib A.T., Champagne V.K. Nano crystalline high energy milled 5083 Al powder deposited using cold spray. Applied Surface Science. 2014. Vol. 305. 797-804.

5. Shockley J.M., Strauss H.W., Chromik R.R., Brodusch N., Gauvin R., Irissou E., Legoux J.-G. In situ tribometry of cold-sprayed Al-Al2O3 composite coatings. Surface & Coatings Technology. 2013. Vol. 215. 350-356.

6. Irissou E., Legoux J.-G., Arsenault B., Moreau C. Investigation of Al-Al2O3 Cold Spray Coating Formation and Properties. Journal of Thermal Spray Technology. 2007. N16. 661-668.

7. Yongshan Tao, Tianying Xiong, Chao Sun, Huazi Jin, Hao Du, Tiefan Li. Effect of α-Al_2O_3 on the properties of cold sprayed Al/α-Al_2O_3 composite coatings on AZ91D magnesium alloy. Applied Surface Science. 2009. N256. 261-266.

8. Алхимов А.П., Клинов С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. Холодное газодинамиче-

ское напыление. Теория и практика. М: ФИЗМАТЛИТ. 2010. 536 с.

9. Толкачев А.А., Чавдаров А.В. Особенности применения процесса газодинамического напыления применительно к восстановлению и упрочнению поверхности // Инновационные технологии реновации в машиностроении: сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2019. С. 215-219.

10. Корнелик С.Е. Революционный метод выращивания и ремонта авиационных деталей с помощью газодинамического напыления // Материалы Международного научного журнала «The International Journal of Advanced Manufacturing Technology»: сборник трудов ООО «Научно-производственная компания «ИНТЕГРАЛ». Томск. 2018. С. 3-4.

References

1. Spencer K., Fabijanic D. M., Zhang M.-X. The use of Al-Al2O3 cold spray coatings to improve the surface properties of magnesium alloys. Surface & Coatings Technology. 2009. Vol. 204. N3. 336-344.

2. Mondol D.P., Das S., Jha A.K., Yegneswaren A.H. Abrasive wear of Al alloy- Al2O3 particle composite: a study on the combined effect of load and size abrasive. Wear. 1998. N233. 131-138.

3. Hodder K.J., Izadi H., McDonald A.G., Gerlich A.P. Fabrication of aluminum–alumina metal matrix composites via cold gas dynamic spraying at low pressure followed by friction stir processing. Materials Science & Engineering. 2012. Vol. 556. 114-121.

4. Roknia M.R., Widenera C.A., Nardib A.T., Champagne V.K. Nano crystalline high energy milled 5083 Al powder deposited using cold spray. Applied Surface Science. 2014. Vol. 305. 797-804.

5. Shockley J.M., Strauss H.W., Chromik R.R., Brodusch N., Gauvin R., Irissou E., Legoux J.-G. In situ tribometry of cold-sprayed Al-Al2O3 composite coatings. Surface & Coatings Technology. 2013. Vol. 215. 350-356.

6. Irissou E., Legoux J.-G., Arsenault B., Moreau C. Investigation of Al-Al2O3 Cold Spray Coating Formation and Properties. Journal of Thermal Spray Technology. 2007. N16. 661-668.

7. Yongshan Tao, Tianying Xiong, Chao Sun, Huazi Jin, Hao Du, Tiefan Li. Effect of α-Al_2O_3 on the properties of cold sprayed Al/α-Al_2O_3 composite coatings on AZ91D magnesium alloy. Applied Surface Science. 2009. N256. 261-266.

8. Alkhimov A.P., Klinov S.V., Kosarev V.F., Fomin V.M. Cold gas-dynamic spraying. Theory and practice. M: FIZMATLIT. 2010. 536.

9. Tolkachev A.A., Chavdarov A.V. Features of the application of the process of gas-dynamic spraying as applied to the restoration and hardening of the surface. Innovative technologies of renovation in mechanical engineering: a collection of works of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 150th anniversary of the faculty «Engineering Technology» and the department «Materials Processing Technologies» MGTU N.E. Bauman. Moscow: MGTU N.E. Bauman. 2019. 215-219.

10. Kornelik S. E. Revolutionary method of growing and repairing aircraft parts using gas dynamic spraying. Materials International Journal of Advanced Manufacturing Technology: collection of works of LLC «Scientific and Production Company «INTEGRAL». Tomsk. 2018. 3-4.

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПЕРВОГО РОССИЙСКОГО ТРАКТОРА

Юлия Сергеевна Ценч, кандидат педагогических наук,
ведущий научный сотрудник
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Российская Федерация

Реферат. *Тракторы представляют собой основные энергетические средства, обеспечивающие проведение сельскохозяйственных, дорожно-строительных и мелиоративных работ. (Цель исследования) Проанализировать этапы развития отечественного тракторостроения. (Материалы и методы) Идея обработки земли при использовании механической тяги возникла довольно давно. В статье дана характеристика первым сельскохозяйственным машинам, послужившим прообразами современных тракторов. (Результаты и обсуждение) На основе анализа научных публикаций описаны шесть этапов развития российского тракторостроения. Отмечено, чем они отличались друг от друга. Первый этап (1918-1929 годы) – интенсивная подготовка к производству и начало выпуска тракторов, отечественных конструкций на некоторых машиностроительных и паровозостроительных заводах. Второй этап развития (1930-1941 годы) – происходило становление отечественного тракторостроения. Третий этап – военное время; большинство гусеничных тракторов передали армии, заводы производили детали для ремонта военной техники. Четвертый этап (1945-1949 годы) – период восстановления и достижения предвоенного уровня развития отечественного тракторостроения. Пятый этап (1950-1965 годы) представлял собой период интенсивного строительства и ввода в строй новых тракторных производств и новых базовых моделей. Шестой этап (после 1965 года) – развитие специализированных производств: узлов и деталей двигателей, шестерен, элементов ходовых систем, и даже тракторных сидений, промышленные, лесопромышленные и лесохозяйственные тракторы. (Выводы) За несколько десятков лет отечественное тракторостроение достигло значительных успехов. Развитие получили научно-исследовательские институты и конструкторские организации, конструкторские бюро при тракторных заводах, втузы, которые в содружестве с промышленностью вели исследовательские и опытно-конструкторские работы в области тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.*

Ключевые слова: *трактор, самобеглая коляска, самоходная машина, двигатель внутреннего сгорания, русский трактор, универсал, гном, карлик, универсал, прогресс, коломенец, коммунар, путиловец, запорожец.*

Для цитирования*: Ценч Ю.С. История создания первого российского трактора // Технический сервис машин. Т. 135 (2). С. 184-197.*

THE HISTORY OF THE FIRST RUSSIAN TRACTOR

Julia S. Tsench, candidate of pedagogical Sciences, leading researcher
Federal agricultural research centre VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Tractors represent the main power means providing carrying out agricultural, road-building and meliorative works. ((Purpose of research)) to Analyze the stages of development of domestic tractor. (Materials and methods) the Idea of working the earth using mechanical traction arose quite a long time ago. The article describes the first agricultural machines that served as prototypes of modern tractors. (Results and discussions) Based on the analysis of scientific publications, six stages of development of the Russian tractor industry are described. It is noted how they differed from each other. The first stage (1918-1929) – intensive preparation for production and the beginning of production of tractors, domestic designs at some machine-building and locomotive plants. The second stage of development (1930-1941 years) – was the formation of domestic tractor. The third stage - wartime; most crawler tractors handed over to the army, factories produced parts for the repair of military equipment. The fourth stage (1945-1949) - the period of restoration and achievement of the pre-war level of development of domestic tractor. The fifth stage (1950-1965) was a period of intensive construction and commissioning of new tractor plants and new basic models. The sixth stage (after 1965) – the development of specialized industries: components and parts of engines, gears, elements of running systems, and even tractor seats, industrial, timber and forestry tractors. (Conclusions) For several decades, the domestic tractor industry has achieved significant success. Were the development of scientific research institutes and design organizations, design bureaus at the tractor plant, the technical colleges, which in collaboration with industry led research and development work in the field of tractor and agricultural machinery.*

Keywords: *tractor, self-propelled carriage, self-propelled car, internal combustion engine, Russian tractor, wagon, dwarf, dwarf, wagon, progress, kolomenets, Kommunar, Putilovets, Zaporozhets.*

For citation: *Tsench Yu. S. The history of creation of the first Russian tractor. Technical service of machines. 2019. T. 135 (2). 184-197.*

Ведение. Тракторы представляют собой основные энергетические средства, которые обеспечивающие проведение сельскохозяйственных, дорожно-строительных, мелиоративных работ.

История мирового тракторостроения на сегодняшний день насчитывает более 200 лет.

Цель исследования – проанализировать этапы развития отечественного тракторостроения.

В 1791 г. изобретатель И. Кулибин построил первую в нашей стране трехколесную «самобеглую коляску», в которой присутствовали механизмы, применяющиеся и в современных тракторах: коробка переключения передач, рулевое управление и тормозная система. Машина приводилась в движение посредством физической силы человека [1].

В 1898 г. механик Ф.А. Блинов соорудил конструкцию, положившую в будущем начало гусеничным тракторам. Роль силового агрегата выполняли две паровые машины, которые устанавливались на раме длиной 5 м. Кру-

тящий момент к ведущим звездочкам передавался посредством отдельных шестеренных передач от каждой машины. Ведущие звездочки, в свою очередь, были сцеплены с гусеницами. Для управления трактором требовались два человека. Скорость движения составляла всего порядка 3 км/ч.

В 1897 г. ученый Р. Дизель построил первый в мире двигатель внутреннего сгорания, работающий от сжатия, который в дальнейшем стали называть в честь его создателя. В 1910 г. Я. Мамин создал первый отечественный дизельный колесный трактор. Впоследствии данную машину назвали «русский трактор» [1].

Материалы и методы. Идея обработки земли при использовании механической тяги возникла довольно давно. Например, в нашей стране в 1785-1788 гг. опубликовали работы агронома И.М. Комова, которые назывались «О земледелии» и «Земледельческие орудия». В 1836 г. инженер В.П. Гурьев впервые озвучил идею об использовании для пахотных работ тягачей с паровым двигателем. Д.А. Загряжский в 1843 г. разработал, а затем и запатентовал первый экипаж, перемещавшийся посредством гусеничного хода. В 1878 г. С. Маевский создал и запатентовал гусеничный тягач, в котором в качестве силовой установки использовали паровую машину. Однако все эти патенты не смогли найти практического применения на тот момент, так как в них не решался важнейший вопрос о способе поворота гусеничного тягача. Эту проблему смог решить механик, а также изобретатель-самоучка Ф.А. Блинов, создав устройство, обеспечивающее для левого и правого гусеничного движителя разные поступательные скорости движения. В 1879 г. он смог получить патент на свою конструкцию гусеничного хода, которую он впоследствии дооборудовал паровой машиной, и уже в 1888 г. были проведены ходовые испытания прототипа будущего гусеничного трактора.

Результаты и обсуждение. На Всероссийской промышленной и художественной ярмарке в июне 1896 г. состоялась первая публичная демонстрация самого первого в мире трактора на гусеничном ходу, который оснастили двумя горизонтально расположенными паровыми двигателями. Впоследствии этот год стали считать годом начала тракторостроения в России.

Ученик Ф.А. Блинова, одаренный изобретатель Я. Мамин, предвидя сложности с применением на практике «не ко времени рожденного» трактора на гусеничном ходу с паровым двигателем, решил создать двигатель, обладающий меньшей массой. Такой двигатель, имевший высокую степень сжатия, впрыск топлива в котором происходил посредством насосного распыливания, был создан в 1899 г., причем почти одновременно создан и двигатель немецкого ученого Р. Дизеля (в 1897 г.). К 1911 году Я. Мамин уже создал целую серию двигателей, которые работали на нефти и имели мощность от 16 до 60 л. с. В проекте «Русский трактор» Мамин устанавливал их на тракторах его собственной оригинальной конструкции, имевших металлические колеса (рис. 1). Эти тракторы назывались «Универсал» (номинальная мощность 16 л. с.), «Посредник» (номинальная мощность 30 л. с.) и «Прогресс» (номинальная мощность 60 л. с.). Их стали производить на его собственном небольшом заводе в городе Балакове [1, 2]. На этом закончим экскурс в предысторию зарождения отечественных тракторов, которая происходила до революции 1917 г. В тот период в России насчитывалось всего порядка 180 тракторов, большую часть из них составляла техника зарубежного производства, эксплуатировавшаяся в крупных хозяйствах. Развитие тракторостроения в нашей стране после 1917 г. следует подразделить на ряд этапов.

Рис. 1. «Русский трактор» Я. Мамина

Первый этап (1918-1929 гг.) – период подготовки кадров для будущего массового производства тракторов. Он характерен тем, что происходила интенсивная подготовка к производству и начало выпуска тракторов, как зарубежных, так и отечественных конструкций на некоторых машиностроительных и паровозостроительных отечественных заводов. В результате Балаковский завод стал называться «Возрождение», а Я.В. Мамин стал его директором и вместе со своими двумя сыновьями начал работы по проектированию простых, легких и при этом дешевых трехколесных тракторов, которые наиболее подходили для эксплуатации в крестьянских хозяйствах того периода. В 1919 г. появился трактор «Гном», а в 1924 г. – «Карлик», имевший мощность 12 л. с. (рис. 2), развиваемую одноцилиндровым двигателем, работавшим на нефти. Этот трактор впоследствии стали производить и в четырехколесном варианте.

Завод выпускал машины мелкосерийно и до конца 20-х годов собрал лишь несколько десятков партий тракторов этих моделей. В 1918 г. на машиностроительном заводе под названием «Большевик» (под Петроградом) мелкосерийно выпускались мощные для того времени пяти- и десятитонные гусеничные тракторы, выполненный по образцу американской фирмы Holt. Их оснащали карбюраторными бензиновыми двигателями номинальной мощностью 40 и 75 л. с. В 1918 г. создали научно-исследовательскую лабораторию (НАЛ), основными задачами которой являлось проведение исследовательских работ в области автомобилей, тракторов, автотракторных двигателей, впоследствии она была преобразована в НАМИ (Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт).

Рис. 2. Трактор «Карлик» конструкции Я.В. Мамина

Импульсом для наиболее быстрого развития российского тракторостроения послужил декрет от 1 апреля 1921 г. «О сельскохозяйственном маши-

ностроении», в котором отметили необходимость превращения данной отрасли промышленности в одну из приоритетных по вопросам организации массового производства.

В 1920-1929 гг. на базе Коломенского и Брянского паровозостроительных заводов создали производство колесных тракторов малыми сериями. Сначала это был трактор на основе американского трактора «Могул», имевший горизонтальный оппозитный керосиновый двухцилиндровый двигатель; при этом его масса составляла всего около 5 тонн. В 1923 г. на базе этой модели создали абсолютно новую машину «Коломенец-1», имевшую нефтяной двигатель и массу порядка 3,5 т (рис. 3). Впоследствии этот трактор стали выпускать на обоих заводах.

Рис. 3. Трактор «Коломенец-1»

Впоследствии спроектировали более совершенные конструкции машин под названиями «Коломенец-2», «Коломенец-3» и «Коломенец-4»; их выпустили свыше 500 штук. В 1923 г. на заводе «Красный прогресс» в городе Токмак начали производить трехколесные тракторы «Запорожец», оснащенные одноцилиндровым двигателем номинальной мощностью 12 л. с., который работал на сырой нефти. Самой главной его особенностью стало применение единственного заднего широкого металлического колеса с почвозацепами, что исключало использование сложного в производстве того времени механизма дифференциала (рис. 4). В период 1923-1927 гг. произведено 500 тракторов. Это был очень простой трактор, который создали сторонники «русского направления» в тракторостроении. Крупносерийное производство тракторов на гусеничном ходу ХПЗ, Г-50, Г-75 и З-90 («Коммунар»), сделанного по образцу трактора Z-50 немецкой фирмы Hanomag для нужд армии, запущено в 1923 г. на Харьковском паровозостроительном заводе (в настоящее время – машиностроительный завод им. Малышева). Эти машины сначала оснащались керосиновыми, а затем бензиновыми двигателями внутреннего сгорания мощностью от 50 до 90 лошадиных сил (рис. 5). В том же 1923 г. на заводе «Красный Путиловец» (впоследствии – Ленинградский Кировский завод) запустили крупносерийное производство колесного трактора под названием «Фордзон-Путиловец», оснащенного керосиновым четырехцилиндровым двигателем мощностью 19 л. с., аналогом которого являлся трактор Fordson, выпускавшийся фирмой Ford. В 1929 г. именно он стал первым в отечественной истории трактором массового производства (рис. 6).

В 1925 г. приняли решение о начале строительства первого отечественного завода, на котором планировали наладить массовое производство тракторов сельскохозяйственного назначения (впоследствии названного СТЗ) в городе Царицыне (в настоящее время – Волгоград).

Постановлением от 31 декабря 1925 г. институту НАМИ поручили про-

ведение исследовательских, а также конструкторских работ в области тракторной техники; был организован отдел тракторов. Этот день считают днем создания тракторного института НАТИ.

В 1927 г. в селе Персиановке проводили конкурсные испытания на определение лучших моделей.

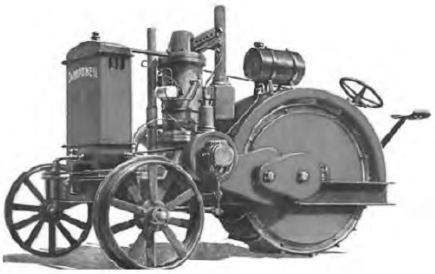


Рис. 4. Трактор «Запорожец»

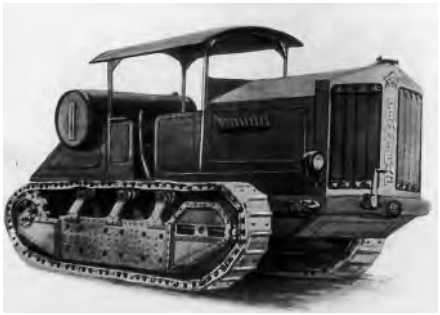


Рис. 5. Трактор «Коммунар»

Рис. 6. Трактор «Фордзон-Путиловец»

Испытывали пять гусеничных и двадцать два колесных трактора как отечественного, так и зарубежного производства. Одним из технических руководителей испытаний был Д.К. Карельских, создатель отечественной школы испытателей, впоследствии ставший профессором, членом-корреспондентом Академии артиллерийских наук, организатором кафедры «Тракторы» в Московском автомеханическом институте (МАМИ), головном вузе подготовки кадров для отечественного тракторостроения. Две модели колесных тракторов 15/30 и 10/20 американской фирмы International и одна модель трактора на гусеничном ходу 50/60 фирмы Caterpillar отобраны для их производства на будущих тракторных заводах страны. К концу первого

этапа развития страна имела около 26 000 колесных и около 900 гусеничных тракторов. Подготовлено значительное число кадров для тракторостроения, наработан опыт создания и внедрения в производство новых моделей тракторов, заложен фундамент для создания в стране новой отрасли машиностроения – тракторостроения в массовой форме [1].

Второй этап (1930-1941 гг.) – происходило становление отечественного тракторостроения.

В 1930 г. запустили первенец отечественного массового производства тракторов – Сталинградский тракторный завод (СТЗ), который стал выпускать колесный трактор СТЗ-1 (являвшийся аналогом 15/30), оснащенный карбюраторным четырехцилиндровым двигателем, работающим на керосине [7]. В октябре 1931 г. брата-близнеца этого трактора под маркой СХТЗ стали производить на Харьковском тракторном заводе (рис. 7).

Рис. 7. Трактор СХТЗ

Оба завода достигли на проектной мощности производства в 50 тыс. тракторов в год в рекордно короткие для того времени сроки. Это дало возможность к 1932 г. полностью обеспечить потребности отечественного сельского хозяйства в тракторах и отказаться от их ввоза из-за границы. В июне 1932 г. запустили в строй Челябинский тракторный завод (ЧТЗ) – первый завод, на котором массово выпускали гусеничные тракторы. На нем развернули производство мощного гусеничного трактора С-60 (являвшегося аналогом модели 50/60 фирмы Caterpillar), оснащенного четырехцилиндровым двигателем (рис. 8). Эта машина нашла широчайшее применение не только в сельском хозяйстве, став востребованной в промышленности и для нужд обороны страны.

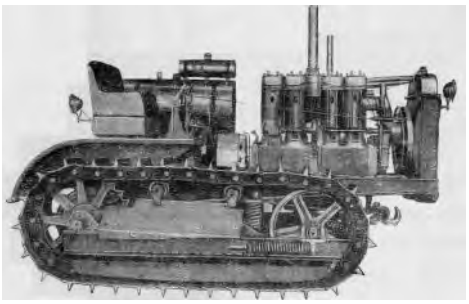


Рис. 8. Гусеничный трактор С-60

В результате реконструкции тракторного завода «Красный Путиловец» в 1934 г. освоили выпуск специализированных пропашных тракторов на колесном ходу «Универсал-1», имевших сближенные передние колеса, что необходимо для обработки высокостебельных культур, таких как хлопчатник, подсолнечник и кукуруза, а также «Универсал-2» с широко расставленными колесами, предназначавшийся для обработки низкостебельных культур (рис. 9). Прототипом для этих машин послужил трактор «Формол» американской фирмы International. Начало производства «Универсалов» открыло новое направление в отечественном тракторостроении – производство пропашных тракторов.

Рис. 9. Трактор «Универсал-2»

Таким образом, принятый на заре развития отечественного тракторостроения метод копирования лучших образцов зарубежных конструкций, а также технологии их производства с последующим их применением в нашей стране полностью себя оправдал. В результате всего за несколько лет создали очень мощную и при этом высокотехничную тракторную промышленность, выпускавшую наиболее совершенные на тот момент модели тракторов, и подготовили условия для создания оригинальных отечественных конструкций высочайшего технического уровня. Практика эксплуатации колесных тракторов марки СХТЗ показала, что при тенденции укрупнения пахотных площадей, предназначенных для сельскохозяйственного производства, и работе в разнообразных природно-климатических зонах страны, их производительность становилась все меньше, а затраты на эксплуатацию стали резко возрастать. Поэтому абсолютное большинство специалистов аграрников-эксплуатационников тракторов и тракторостроителей сошлись во мнении о необходимости замены колесного трактора на трактор на гусеничном ходу средней мощности, являвшийся наиболее перспективным для применения в сельскохозяйственном производстве того времени. Вместе с этим появилась возможность использования перспективной машины для нужд армии. Работы по проектированию гусеничного трактора отечественной конструкции возглавил научно-исследовательский тракторный институт НАТИ. Совместно с ним действовали объединенные конструкторские бюро заводов СТЗ и ХТЗ.

В результате создали унифицированные между собой модификации гусеничного трактора: предназначенная для сельскохозяйственных работ СХТЗ-НАТИ и транспортная СТЗ-5. Обе модели уже с 1937 г. производили на этих заводах взамен выпускавшихся ранее колесных тракторов. Базовый трактор СХТЗ-НАТИ (рис. 10), в основе которого лежала рамная конструкция, имел четырехцилиндровый карбюраторный двигатель мощностью 52

л. с., работавший на керосине, и балансирную подвеску, которую впервые в мире применили на тракторе сельскохозяйственного назначения. Он стал первым массово выпускаемым трактором и при этом был целиком отечественной разработкой, не имевшей аналогов за рубежом. Удачный выбор его тягового класса способствовал массовому применению этого трактора в отечественном народном хозяйстве. Общая компоновка машины и балансирная подвеска оказались настолько удачными, что нашли применение в будущих поколениях тракторов данного класса (ДТ-54, Т-74, ДТ-75, ДТ-175С, Т-150) и применяются до сих пор. За создание этого трактора руководитель работ по проектированию В.Я. Слонимский, являвшийся главным инженером НАТИ, был удостоен Первой Государственной премии первой степени за 1939 год. С середины 30-х годов в тракторном двигателестроении стартовали работы по разработке и внедрению тракторных дизелей, а также газогенераторных установок, которые позволяют экономить жидкое топливо лигрон или керосин, применявшиеся в то время в тракторных двигателях. НАТИ вместе с Челябинским тракторным заводом успешно модернизировали дизельный двигатель «Катерпиллар», установленный в 1935 г. на опытный образец трактора С-60 «Сталинец», и уже в июне 1937 г. Челябинский завод освоил выпуск более мощного гусеничного трактора модели С-65 с первым отечественным дизелем мощностью 75 лошадиных сил [4].

Рис. 10. Гусеничный трактор отечественной конструкции СХТЗ-НАТИ

Начало массового выпуска в 1938 г. первых отечественных дизельных двигателей и топливной аппаратуры к ним создало необходимость в строительстве специализированного завода по их производству в городе Уфе. Одновременно НАТИ совместно с Челябинским и Харьковским тракторными заводами проводили работы по созданию газогенераторных установок для их применения гусеничных тракторах, предназначенных в основном для лесной промышленности. С 1938 г. стартовало серийное производство тракторов с газогенераторными силовыми установками на ЧТЗ (СГ-65) и ХТЗ (ХТЗ-Т2Г) заводах. Ленинградский Кировский завод наряду с производством пропашных тракторов модели «Универсал» с 1939 г. освоил выпуск специальных гусеничных трелевочных тракторов КТ-12 с газогенераторной силовой установкой и двигателем мощностью 45 л. с., предназначенный для лесной промышленности [3]. Руководил работами по созданию этого трактора известный танкостроитель Ж.Я. Котин, в связи с чем ходовая часть данного гусеничного трактора с большими опорными катка-

ми значительно отличалась от обычных и сильно напоминала танковую.

Завершая обзор этого этапа, отметим высочайшие темпы роста выпуска тракторов. Так, в 1936 г. страна заняла первое место в Европе по общему количеству выпущенных тракторов, в 1940 г. – первое место в мире по количеству выпущенных гусеничных тракторов, что составило приблизительно 40% от общего мирового их производства. За 1928-1940 гг. тракторный парк машин сельскохозяйственного назначения в стране увеличился с 27 тысяч до 531 тысячи [1]. Вместе с тем тракторная промышленность вынуждена уделять все большее внимание нуждам армии. На СТЗ начинают строительство новых цехов, а в первом полугодии 1941 г. завод производит первую партию средних танков Т-34. На Челябинском тракторном заводе первый опытный образец танка модели КВ был собран в конце 1940 г.

Третий этап (1941-1945 гг.). На Сталинградском тракторном заводе увеличили объем выпуска танков, при этом одновременно производили тракторы СХТЗ-НАТИ и СТЗ-5, а с ноября 1941 г. и двигатели для танков В-2, но к середине осени 1941 г. производство тракторов СХТЗ-НАТИ свернули. К концу 1941 г. СТЗ производил 42% всех танков в стране и так до Сталинградской битвы, когда завод полностью перевели на ремонт боевой танковой техники.

На ЧТЗ, куда было эвакуировано танковое производство с Ленинградского Кировского завода, производство гражданской продукции было прекращено, и он фактически превратился в огромный комбинат, выпускающий бронетехнику. Он являлся был единственным заводом в стране, выпускавшим тяжелые танки моделей КВ и ИС, а также частично средние танки Т-34 и разнообразные самоходные артиллерийские установки (САУ).

Тракторный парк, предназначенный для сельского хозяйства страны, значительно уменьшился – большинство гусеничных тракторов передали армии, а старые колесные тракторы СХТЗ-1 имели значительный износ и требовали частых ремонтов. В самый тяжелый период Московской битвы, в ноябре 1941 г., приняли решение о строительстве Алтайского тракторного завода в городе Рубцовске на базе эвакуированного Харьковского тракторного завода. Несмотря на возникшие сложности при строительстве и производстве уже 24 августа 1942 г. выпустили первый гусеничный трактор СХТЗ-НАТИ под маркой АСХТЗ-НАТИ, а в январе 1944 г. с конвейера сошел тысячный трактор. В 1946 г. заводу присвоили имя М.И. Калинина [9].

В 1943 г. решили начать строительство новых тракторных заводов в городе Липецке (ЛТЗ) и Владимире (ВТЗ), а также скорейшем восстановлении разрушенных во время войны СТЗ и ХТЗ. В период восстановления СТЗ стал работать в качестве завода по ремонту боевой техники, затем и по ее изготовлению, а в июне 1944 г. с конвейера сошел первый после войны сельскохозяйственный трактор СХТЗ-НАТИ. ХТЗ также стал восстанавливаться в качестве ремонтного завода, но уже к началу 1945 г. перешел на производство тракторов СХТЗ-НАТИ.

В 1943 г. АТЗ совместно с НАТИ развернули исследовательские и конструкторские работы по проектированию новых дизельных тракторов на восстанавливаемых заводах.

Создание трактора для нового Липецкого тракторного завода вели параллельно с его строительством. Первые 25 экземпляров гусеничных тракторов «Кировец К-35», оснащенных с карбюраторными двигателями, выпустили уже в 1944 г., а всего их вышло около 150 штук. Первый опытный

трактор с дизельным двигателем модели КД-35 произвели в августе 1944 г., а массовый выпуск дизельных тракторов мощностью 37 лошадиных сил на Липецком заводе начали в 1947 году.

Владимирский тракторный завод стали строить в 1943 г., а уже в 1944 году изготовили 260 пропашных колесных тракторов модели «Универсал-1», а 24 апреля 1945 г. выпустили 500-й «Универсал» [1].

Четвертый этап (1945-1949 гг.) – период восстановления и достижения предвоенного уровня развития отечественного тракторостроения. В кратчайшие сроки не только восстановили все «старые» тракторные заводы, разрушенные во время войны, но и начали замену устаревшей модельной линейки на более современную [8]. Так, в 1946 г. на Челябинском тракторном заводе заменили трактор модели С-65 на более мощный трактор общего назначения С-80, имевший двигатель мощностью 90 л. с. В 1949 г. завершили производство трактора СХТЗ-НАТИ на СТЗ и ХТЗ, взамен него выпустили дизельный трактор отечественной разработки ДТ-54 с двигателем мощностью 54 л. с. Он стал самым популярным трактором 50-60 гг. (рис. 11).

Рис. 11. Гусеничный трактор ДТ-54

Расширили модельный ряд выпускаемых тракторов. На ВТЗ первыми в мире разработали две новые специализированные модификации пропашных тракторов «Универсал»: У-3 (для междурядной обработки богарного хлопка) и У-4 (предназначавшаяся для установки на ней машин для уборки хлопка). В последней модификации впервые в отечественном тракторостроении применили пневматические шины низкого давления. На ЛТЗ наряду с трактором модели КД-35 в конце 1949 г. стали производить первый в мире пропашной гусеничный трактор модели КДП-35, имевший увеличенный дорожный просвет, увеличенную колею и узкие гусеницы (рис. 12).

К концу 1945 г. начали строительство Минского тракторного завода, и в конце 1948 г. на нем стартовало производство трелевочных тракторов КТ-12, аналогичных выпускавшимся на Ленинградском Кировском заводе. Конструкторы Кировского и Минского заводов одновременно начали опытно-конструкторские работы по проектированию новых моделей трелевочных тракторов ТДТ-40 и ТДТ-60, оснащенных дизельными двигателями мощностью соответственно 40 и 60 лошадиных сил. К 1950 г. тракторная промышленность нашей страны достигла довоенного уровня выпуска тракторов [1].

Пятый этап (1950-1965 гг.) – период интенсивного строительства и ввода в строй новых тракторных производств и новых базовых моделей. В 1954 г. сошли с конвейера первые колесные универсально-пропашные тракторы Минского тракторного завода на Южном машиностроительном заводе в Днепропетровске: сначала МТЗ-2, а затем МТЗ-5Л/5М, МТЗ-5ЛС/5МС и

ЮМЗ-6АКЛ/6АКМ. На Харьковском тракторосборочном заводе (впоследствии – Харьковский завод тракторных самоходных шасси) стали производить самоходные шасси ДСШ-14, а затем ДВСШ-16 и Т-16/16М.

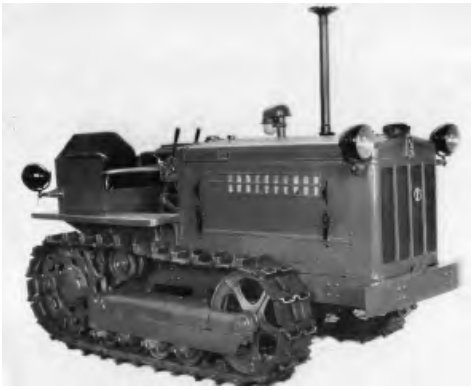


Рис. 12. Гусеничный легкий трактор КДП-35

В 1956 г. заработал Онежский тракторный завод, на котором освоили выпуск гусеничных трелевочных тракторов моделей ТДТ-40/40М, оснащенных двигателями мощностью 29/37 кВт (40/50 л. с.), ТДТ-55 и лесохозяйственного трактора ЛХТ-55 мощностью 45,6 кВт (62 л. с.), а затем и тракторов ТБ-1/1М, предназначенных для бесчокерной трелевки.

На АТЗ в 1957 г. наладили производство трелевочных тракторов ТДТ-60 с двигателем мощностью 80 кВт (110 л. с.), а в 1961 г. – трактора ТДТ-75 мощностью 55 кВт (75 л. с.).

В 1956 г. полностью закончили дизелизацию отечественных тракторов. По объемам выпуска тракторов Советский Союз в 1960 г. вышел на первое место в мире и сохранял лидерство вплоть до 1987 г.

Развитие тракторостроения и превращение его в самостоятельную мощную отрасль машиностроения сопровождалось усилением специализации и развитием специализированного производства главных агрегатов и систем тракторов. По мере усиления специализации построили, а затем ввели в строй следующие заводы по производству топливной аппаратуры: Ногинский (1949 г.), Харьковский (1951 г.), Ярославский (1962 г.). Окончание разработки раздельно-агрегатных гидросистем, используемых в тракторах, послужило толчком для создания специализированных заводов, производящих аппаратуру: Московского гидроагрегатов (1957-1958 гг., производил насосы и распределители); Кировоградского и Винницкого гидроагрегатов (1958-1959 гг., производили насосы); Елецкого по производству гидроцилиндров (1957 г.); Мелитопольского по производству цилиндров и распределителей (конец 50-х гг.). Специализированное производство двигателей стало развиваться после окончательного завершения дизелизации отечественного тракторостроения в 1956 г. Возникла целая подотрасль двигателестроения: Минский моторный (1962 г.), Харьковские «Серп и молот» (1962 г.) и тракторных двигателей (1969 г.), Алтайский моторный (1966 г.), Волгоградский моторный (1986 г.).

С 1960 г. на тракторосборочном заводе в Узбекистане (впоследствии –Ташкентский тракторный завод) начали выпуск (совместно с ВТЗ) хлопководческих тракторов моделей Т-28ХЗ и Т-28Х4, оснащенных двигателями мощно-

стью соответственно 40 и 50 л. с. В 1962 г. запустили Кишиневский тракторный завод, на котором освоили производство гусеничных специализированных пропашных тракторов Т-50В и виноградниковых Т-54В, а с 1969 г. еще и свекловодческих Т-54С. Тракторы Т-54В и Т-54С отличались высокой степенью унификации с колесными тракторами, выпускаемыми на Минском тракторном заводе. В 1963 г. Ленинградском Кировском заводе стартовало производство первого в истории отечественного тракторостроения сельскохозяйственного трактора, имевшего все ведущие колеса одинакового размера модели К-700, оснащенного двигателем мощностью 154 кВт (203 л. с.) [1].

Шестой этап – после 1965 г. стали развиваться специализированные производства: узлов и деталей двигателей, шестерен, элементов ходовых систем и даже тракторных сидений.

В 1968 г. Павлодарский тракторный завод (ПТЗ) в Казахстане освоил производство гусеничных пахотных тракторов модели ДТ-75М, оснащенных двигателем мощностью 66 кВт (90 л. с.), разработанной Волгоградским тракторным заводом (ВгТЗ). Вместе с развитием производства тракторов сельскохозяйственного назначения, происходило строительство заводов, на которых планировалось выпускать промышленные, лесопромышленные и лесохозяйственные тракторы. Производство трелевочных модификаций на базе сельскохозяйственных тракторов модели Т-157 начали в 1974 г. на ХТЗ. В 1975 г. наступил важный этап в развитии производства отечественных промышленных тракторов: начали производство гусеничных промышленных тракторов Т-330 (мощностью 330 л. с.) на новом заводе в Чебоксарах. Самым крупным производителем промышленных тракторов оставался ЧТЗ, на котором выпускали и продолжают выпускать несколько поколений моделей промышленных тракторов С-60/65; С-80; Т-100/100М; Т-130/130М; Т-170; ДЭТ-250/250М. В 1958-1980 гг. промышленные тракторы общего назначения (Т-140, а затем Т-180Г) мощностью 129 кВт (175 л. с.) и трубоукладчики (Д-804М) мощностью 129 кВт (175 л. с.) выпускал Брянский автомобильный завод (БАЗ) [1]. В 1983 г. на Челябинском тракторном заводе изготовили первый трактор Т-800 тягового класса 75, а в 1985 г. на заводе в Чебоксарах организовали участок сборки тракторов Т-500 тягового класса 50 кН. В конце 1990-х г. стартовало массовое производство малогабаритных колесных тракторов на Челябинском (Т-0,2.03), Харьковском (ХТЗ-012, ХТЗ-1410), Минском (МТЗ-0,82, МТЗ-1,02) тракторных заводах и на Курганском машиностроительном заводе (КМЗ-012) [5, 6].

Выводы. Мощный толчок в развитии получили научно-исследовательские институты и конструкторские организации, конструкторские бюро при тракторных заводах, втузы, которые в содружестве с промышленностью вели исследовательские и опытно-конструкторские работы в области тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Одной из таких организаций стал ВИМ, развивающий инженерное направление сельскохозяйственного производства и сельскохозяйственного машиностроения. Он принимает непосредственное участие в поисковых исследованиях и создании опытных образцов тракторов нового поколения, в совершенствовании агрегатов двигателей, трансмиссий, ходовых систем, гидроагрегатов. ВИМ служит ведущей организацией в области агроинженерной науки, машинно-технологической модернизации сельского хозяйства страны, внедрения в сельхозпроизводство новейших энерго- и ресурсосберегающих технологий и технических средств нового поколения.

Библиографический список

1. Шарипов В.М., Ксеневич И.П. Тракторы. Конструкция. М.: МГТУ «МАМИ». 2001. 821 с.

2. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 5 (Т – Я) / Ред. коллегия: П.П. Лобанов (глав. ред.) [и др.]. Издание третье, переработанное. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1956. 663 с.

3. Костюченко С.А. История Кировского завода. М.: Мысль. 1966. 704 с.

4. Комаров Л.С., Ховив Е.Г., Заржевский Н.И. Летопись Челябинского тракторного (1929-1945 гг.). М.: Профиздат. 1972. 375 с.

5. Комаров Л.С., Боярчиков В.Г. Летопись Челябинского тракторного. (1945-1980 гг.). М.: Профиздат. 1982. 392 с.

6. Платонов В.М., Кожеуров В.П. ЧТЗ: вчера, сегодня, завтра. Челябинск: Урал. Академия. 2002. 223. с.

7. Трушин И.А., Першин Н.И. Первенец советского тракторостроения. История волгоградского тракторного завода им. Дзержинского. Волгоград: Нижне-Волжское книжное издательство. 1980. 368 с.

8. Пешкин И.С. Две жизни Сталинградского тракторного. М.: Профиздат. 1947. 136 с.

9. Пустынников И.А., Севастьянов К.Р. Ордена Ленина Алтайский тракторный: очерк истории Алтайского тракторного завода им. М.И. Калинина. Барнаул: Алтайское книжное издательство. 1978. 216 с.

References

1. Sharipov V.M., Ksenevich I.P. Tractors. Design. Moscow: MGTU «MAMI». 2001. 821.

2. 0 Agricultural encyclopedia. Vol. 5 (T – I) / Ed. Board: P.P. Lobanov (chapters. ed.) [et al.]. Third edition, revised. Moscow: State publishing house of agricultural literature. 1956. 663.

3. Kostyuchenko S.A. History of Kirov Plant. Moscow: Thought. 1966. 704.

4. Komarov L.S., Hoviv E.G., Zarzhevsky N.I. Chronicle Chelyabinsk tractor (1929-1945). Moscow: Profizdat. 1972. 375.

5. Komarov L.S., Boyarchikov V.G. Chronicle of the Chelyabinsk tractor. (1945-1980). Moscow: Profizdat. 1982. 392.

6. Platonov V.M., Kozheurov V.P. ChTZ: yesterday, today, tomorrow. Chelyabinsk: Urals. Academy. 2002. 223.

7. Trushin I.A., Pershin N.I. Pervenets of the Soviet tractor construction. History of the Volgograd tractor plant of Dzerzhinsky. Volgograd: Lower Volga book publishing house. 1980. 368.

8. Peshkin I.S. Two lives of the Stalingrad tractor. Moscow: Profizdat. 1947. 136.

9. Pustynnikov I.A., Sevastyanov K.R. Orders of Lenin the Altai tractor: sketch of history of the Altai tractor plant of M.I. Kalinin. Barnaul: Altai book publishing house. 1978. 216.

УДК 629.3014.2

ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СЕРВИСА МАШИН

Валентин Павлович Лялякин[1], доктор технических наук, профессор, главный специалист, e-mail: valpal-1938@mail.ru;
Иван Андреевич Огородник[2], кандидат технических наук,
[1]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;
[2] г. Дзержинск, Республика Беларусь

Реферат. *В декабре 1918 года. на I Всероссийском съезде земельных отделов, комитетов бедноты и коммун, говорилось, что единственный путь для отсталого, разоренного войной сельскохозяйственного производства – это переход от мелкого крестьянского хозяйства, ведущегося по старинке, к коллективному земледелию, основанному на достижениях науки и техники. (Цель исследования) Проанализировать начало развития сервиса машин в Советском Союзе. (Материалы и методы) В 1921 году. подписали декрет о сельскохозяйственном машиностроении, в котором предусматривалась разработка генерального плана организации производства сельскохозяйственных машин, создание квалифицированных кадров рабочих, техников, инженеров. Приняли решение закупать тракторы за границей, а также начать их массовое производство в своем государстве. (Результаты и обсуждение) Изучили историю развития сервиса машин в России. Показали, что первые публикации по обслуживанию техники появились в журнале «Машины в деревне» в 1928 году. Провели анализ публикаций по техническому сервису машин до 1930 года и до момента создания факультета по механизации сельского хозяйства при различных учебных институтах. (Выводы) В кратчайшие сроки в СССР наладили выпуск собственной сельскохозяйственной техники и освоили ремонт как импортной, так и отечественной агротехники.*

Ключевые слова: *технический сервис машин, сельскохозяйственные журналы, ремонт, ремонтные мастерские, трактора.*

Для цитирования: *Лялякин В.П., Огородник И.А. Из истории развития сервиса машин // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 198-207.*

FROM THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF SERVICE MACHINES

Valentin P. Lyalyakin[1], Dr.Sc(Eng.), professor, chief specialist, e-mail: valpal-1938@mail.ru;
Ivan A. Ogorodnik[2], Ph.D.(Eng.)
[1] Federal scientific agroengineering center VIM, Moscow, Russian Federation;
[2] Dzerzhinsk, Republic of Belarus

Abstract. *In December, 1918 at the I All-Russian congress of land departments, committees of the poor and communes, it was said that the only way for the backward, ruined by war agricultural production is a transition from the small-*

scale country enterprise which is conducted in the old manner to the collective agriculture based on achievements of science and technology. (Purpose of research) to Analyse the beginning of development of service of cars in the Soviet Union. (Materials and methods) In 1921 signed the decree about agricultural mechanical engineering in which development of the master plan of the organization of production of farm vehicles, creation of qualified personnel, technicians, engineers was provided. Made the decision to buy tractors abroad and also to begin their mass production in the state. (Results and discussion) Studied history of development of service of cars in Russia. Showed that the first publications on service of the equipment were published in the "Mashiny v Derevne" magazine in 1928. Carried out the analysis of publications on technical service of cars till 1930 and until creation of faculty on mechanization of agriculture at various educational institutes. (Conclusions) In the shortest possible time in the USSR marketed own agricultural machinery and mastered repair of both an import, and domestic agrotechnology.

Keyword: *maintenance of machines, agricultural logs, repairs, repair shops, tractors.*

For citation: *Lyalyakin V.P., Gardener I.A. From the history of development of service mashines. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 198-207.*

Введение. Проблемы износа машин, нормализации их технического обслуживания и ремонта не имели актуального значения в первые годы Советской власти, когда не было самих машин, а сельское хозяйство пользовалось главным образом сохой даи бороной на конной тяге. Крестьянская кузница была тогда достаточной ремонтной базой для сельского хозяйства.

Нельзя забывать, что в первые годы Советской власти страна переживала разруху и голод.

Уже в декабре 1918 г. на I Всероссийском съезде земельных отделов, комитетов бедноты и коммун, говорилось, что единственный путь для отсталого, разоренного войной сельскохозяйственного производства – это переход от мелкого крестьянского хозяйства, к коллективному земледелию, основанному на достижениях науки и техники.

Тракторов и других сложных машин в то время не было совсем, если не считать ничтожного количества опытных образцов, создававшихся главным образом энтузиастами-изобретателями, да нескольких десятков импортных машин, работавших ранее в помещичьих хозяйствах.

Забота о благе народа – задача Советской власти и как только появилась малейшая возможность Советское государство немедленно приняло соответствующие решения.

Цель исследования – проанализировать начало развития сервиса машин в СССР.

Материалы и методы. В 1921 г. был подписан декрет о сельскохозяйственном машиностроении, в котором предусматривалась разработка генерального плана организации производства сельскохозяйственных машин, создание квалифицированных кадров рабочих, техников, инженеров.

Приняли решение закупать тракторы за границей, а также начать их массовое производство своем государстве.

В 1921-1922 гг. было закуплено около 1000 тракторов, в 1924-1925 гг. – более 1500 шт., в 1926-1927 гг. – более 5 000 шт., в 1929-1930 гг. – 23600 шт.

Вместе с тракторами импортировались и сельскохозяйственные машины, запасные части, ремонтное оборудование. Наряду с этим в 1924 г. выпустили первый советский трактор массового производства – «Фордзон-Путиловец». В 1921-1924 гг. машины в первую очередь продавали в кредит первым коммунам и колхозам, товариществам по совместной обработке земли. МТС были созданы позднее. Появление даже небольшого количества тракторов в деревне было становилось необыкновенным событием.

Эти тракторы выстраивали колоннами, чтобы все население могло их видеть, потрогать, сравнить со старой техникой. До сплошной коллективизации сельского хозяйства, многие наши крестьяне смотрели на трактор, как на диковину, не верили в их способность работать «не хуже лошади».

В первый период часто нужно было доказывать возможность и целесообразность применения самих тракторов. Механикам, демонстрировавшим работу тракторов, приходилось обеспечивать очень четкий запуск двигателя, четкую езду, повороты трактора и умелое выполнение тех или других работ. Самым первым трактором, получившим достаточно широкое распространение, как известно, был «Фордзон», который при неумелой пахоте часто буксовал. Это вызывало сочувствие только у ребятишек. Взрослые подчас злорадствовали, уверяли, что лошадь так не подведет.

В подобных условиях каждый тракторист и механик старались хорошо готовить машину к выходу в поле, чтобы во что бы то ни стало обеспечить нормальную ее работоспособность. Требования заводских инструкций по уходу, регулировке и необходимому ремонту машин выполнялись трактористами и механиками строго и до начала рабочего дня. Сами трактористы и механики тех времен являлись энтузиастами своего дела. Все они любили технику и готовы были проводить около машин дни и ночи, многие из них затем стали специалистами по ремонту машин. Не было недостатка и в добровольных помощниках, особенно из числа подростков, молодежи.

Когда дело доходило до необходимости разборки трактора для выяснения неисправностей или ремонта, то к человеку, починившему трактор, многие относились, как к чародею (примерно так, как теперь все относятся к хирургу, оперирующему сердце). В совхозах тех времен и в тракторных отрядах появились механики американских фирм.

В первое время они пользовались большим авторитетом, но отношение к ним изменилось, так как все их рекомендации сводились к тому, чтобы сменить деталь, узел, агрегат, а наши пытливые механизаторы искали и находили возможности исправления и дальнейшей работы старых деталей, узлов и агрегатов. К сожалению, и в настоящее время большинство дилеров зарубежных фирм-производителей сложной сельскохозяйственной техники поступают также, как и механики американских фирм в начале прошлого века. В этих условиях старая деревенская кузница уже не удовлетворяла требованиям ремонта новой техники. Необходимы были новаторские решения появляющихся проблем ремонта.

Результаты и обсуждение. Первые сельскохозяйственные журналы того времени («Новая деревня» – начал выходить с декабря 1921 г., «Коллективист» –с июня 1925 г., «Машина в деревне» – с февраля 1928 г.) содержат некоторую информацию о необходимости аккуратного обращения и ухода за тракторами и другими машинами.

Но вначале этих публикаций было крайне мало. Только в № 2-3 журнала «Коллективист» за 1925 год в разделе «Что делается в Сельскосоюзе» опу-

бликована заметка о ремонтных мастерских для тракторов. В ней говорилось, что поскольку многие тракторы работают на полях СССР уже в течение 2 лет, «Сельскосоюз» дал заказ за границу на 5 комплектов оборудования ремонтных тракторных мастерских и на запасные части к тракторам и плугам на 300.тыс. рублей. Мастерские будут организованы в тех местах, где больше применяют тракторы: в Саратовской губернии, в Немецкой республике, Воронежской, Самарской губерниях и на Северном Кавказе. По плану «Сельскосоюза» необходимы хорошо оборудованные мастерские, в одной РСФСР в количестве не менее 20.

Для осуществлений намеченного плана покрытия СССР сетью ремонтно-тракторных мастерских сельскохозяйственной кооперации нужны специальные кредиты. Первые пять мастерских и план создания сети ремонтных мастерских в количестве 20 шт. по РСФСР – это ничтожно малые масштабы. Но это было важным началом обеспечения работоспособности тракторов, поступивших в сельское хозяйство.

В № 7 журнала «Коллективист» за 1925 г. сообщалось о первом «тракторном совещании работников с.-х. кооперации», созванном правлением «Сельсхосоюза» в декабре 1925 г. На совещании обсуждали вопросы установления обоснованных норм расхода топлива, о системе складов ГСМ, о подготовке кадров механизаторов, которых, по подсчетам того времени, требовалось иметь на 1926 г. «25.000 рулевых, 1350 механиков, 900 инструкторов, 90 инженеров и агрономов, знакомых с тракторным делом».

Курс на крутой подъем сельского хозяйства на базе механизации, на укрепление колхозов был принят на XIV съезде ВКП(б). В 1926 г. Наркомзем разработал план ремонта сельскохозяйственного инвентаря на «наступающий операционный год», который был внесен в Госплан. Затраты на него определили в сумме 34,7 млн руб. (стоимость инвентаря, требующего ремонта, тогда же определили в 785 млн руб).

По 22 губерниям РСФСР «у земорганов имелось 22 ремонтные мастерские, у кооперации – 180, у частных лиц до 67 000 шт.» (ясно, что имелись в виду простейшие крестьянские кузницы). В том же году предполагали отремонтировать землеобрабатывающих машин и орудий 9 182 шт., веялок – 474 тыс. шт., уборочных машин – 453 тыс. шт., двигателей – 120 тыс. шт. План предусматривал создание 50 центральных мастерских (со штатом 50 чел.) и 150 мастерских «среднего типа» (со штатом по 20 чел.). На мастерские возлагалось также и изготовление запасных частей. Создание таких мастерских, их оборудование и подготовку соответствующих кадров предполагали закончить в течение нескольких лет, до 1930 г.

В 1927 г. Наркомзем обсуждал вопрос «об организации технической помощи всем сельскохозяйственным машинопользователям в республике» («Коллективист», апрель 1927 г.).

Предложили создать при складах сельскохозяйственных машин группы специальных инструкторов-машиноведов, которые будут помогать в установке в хозяйствах «сложных машин», объяснять «порядок обращения и ухода за ними». Предполагалось тогда «на РСФСР иметь 41 инструктора и 374 монтера».

В ремонтные мастерские потянулись энтузиасты новой техники, изобретательные механики, готовые сутками и неделями не отходить от неработающей машины, разобраться в ней, найти неисправность и изыскать способы своими руками устранить ее, чтобы она снова заработала. Энтузиазм

этих людей, стремление понять и освоить все самим были настолько велики и неистребимы, что специальность ремонтника для всех первых механизаторов сельского хозяйства стала их специальностью на всю жизнь, хотя условия работы в мастерских того времени были, конечно, чрезвычайно плохими. Характерные трудности с ремонтом машин того времени удачно изложены в статье «Первая групповая ремонтная мастерская» (журнал «Коллективист», май 1928 г.). В ней сообщалось об организации при колхозе «Керстово» (под Ленинградом) ремонтной мастерской после «нескольких месяцев беспрерывной борьбы с косностью и равнодушием различных учреждений». В статье говорилось: «В районой мастерской находятся 30 тракторов, принадлежащих колхозам, совхозам и машинным товариществам. Кроме того, весь район насыщен и остальным с.-х. инвентарем. На первом же организационном собрании трактороопользователей района, созванном 8 ноября 1927 года, достаточно ярко выявилось беспомощное положение трактороопользователей. Существующая в области трактороопомощь при Севзапгоссельхозснабжении совершенно не обеспечивала их соответствующей технической и ремонтной помощью». Такого рода обслуживание трактороопользователей непосредственно из Ленинграда путем выездов инструкторов имело недостатки: несвоевременные выезды, вследствие чего происходили простои тракторов; незначительное число выездов – не более одного на каждый трактор; необеспеченность инструкторов монтажными приборами и, наконец, полное отсутствие на месте запасных частей. Все это вынуждало трактороопользователей искать себе помощь со стороны, в различных организациях и учреждениях г. Ленинграда (техникумах, заводах).

Накладные расходы отдельных трактороопользователей при покупке той или иной небольшой запасной части в Ленинграде повышали ее стоимость на 250-300%, не говоря уже о долгом простое тракторов. Это уменьшало время использования тракторов в различного рода работах и одновременно увеличивало себестоимость единицы продукции, производимой им в хозяйстве. оэтому инициативная группа колхозов поставила перед трактороопользователями Кингисеппского края вопрос о самообслуживании путем организации коллективной трактороремонтной мастерской со складом запасных частей как к тракторным гарнитурам, так и к другим с.-х. машинам.

Мастерская с полной ее самоокупаемостью рассчитана на широкий ремонт всех видов сельскохозяйственного инвентаря, транспорта и различных подсобных предприятий (мельниц, лесопилок)».

В № 10 журнала «Коллективист» за 1927 г. сообщалось об открытии в Тифлисе центральных ремонтных мастерских по тракторам и сельскохозяйственным машинам, при которых предполагалось организовать курсы механиков и трактористов. Первые ремонтные мастерские» в сельском хозяйстве оснащались старыми токарными станками или импортными комбинированными станками «Краузе», примитивным кузнечным оборудованием, а вместо подъемных кран-балок и тельферов применялась деревянная тренога. Специальное ремонтное оборудование поставляли фирмы «Клленберг» (станки для шлифовки коленчатых валов), «Хенкли-Майерс» (станки для расточки цилиндров двигателей, прессы для правки деталей), «Хемпи-Купер» (приборы для заливки подшипников), Гребс и Катерпиллар (съемники), «Аллен» (приборы для контроля электрооборудования), «Блек и Деккер» (приборы для шлифовки и притирки клапанов), «Матра» (приспособления для шлифовки цилиндров и расточки подшипников), «Стивене» (при-

боры для контроля шатунно-поршневой группы) и другие (рис. 1). Инструмент (гаечные ключи, отвертки) в мастерских изготовляли сами.

Появились образцы зарубежных передвижных мастерских (рис. 2).

Рис. 1 Одно из рекламных объявлений фирмы «Матра», которая поставляла в СССР в 20-30-х годах ремонтное оборудование

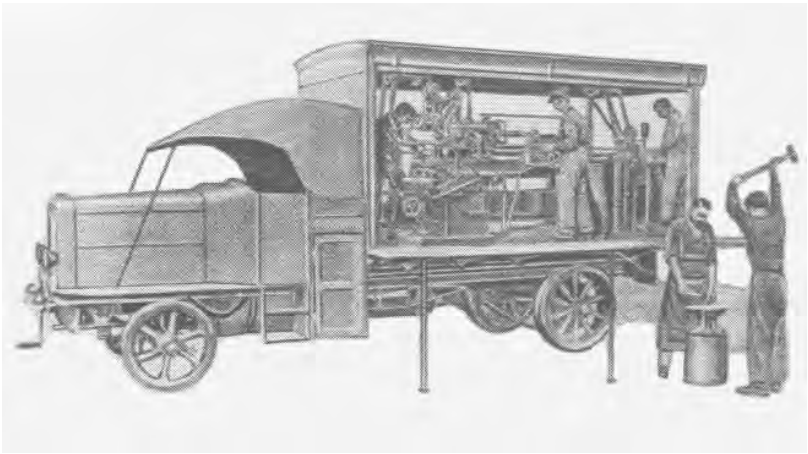


Рис. 2. Передвижная ремонтная мастерская образца 1930 г. (импортная)

Специалисты, на которых была возложена обязанность заниматься вопросами поддержания работоспособности первых тракторных отрядов или тракторных колонн, с полной ответственностью и глубокой заинтересованностью думали и работали над этими проблемами.

Нельзя без волнения читать первые статьи специалистов, занимавшихся техническим обслуживанием и ремонтом машин, появившиеся в периодической печати двадцатых годов. Поражает глубокая творческая заинтересованность в правильном решении вопроса, высокая моральная ответственность за дело и широта охвата проблем в целом, которую в то время проявили эти специалисты.

Уже в небольшой передовой статье первого номера первого технического журнала по механизации сельского хозяйства «Машина в деревне» (февраль, 1928 г.) говорилось, что журнал будет освещать «вопросы правильного и наиболее рентабельного использования сельскохозяйственных машин в деревне, организации и постановки групповых и кустовых объединений (в части работы их по ремонту и техническому обслуживанию), вопросы ремонта, типы ремонтных мастерских, снабжение запасными частями, обзоры и критические отзывы о литературе по всем этим вопросам» (рис. 3).

Рис. 3. Так выглядел первый номер журнала «Машина в деревне»

В первом же номере этого журнала была опубликована статья С.Ф. Грай (отв. редактор журнала) «О техническом обслуживании машинопользователей», в которой обстоятельно рассмотрены вопросы технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве, упомянуты проблемы обеспечения машин запасными частями, приведены примеры материального участия машинных товариществ и первых колхозов в организации ремонтных мастерских.

В этом же номере журнала напечатана небольшая статья В.Н. Живова, читая которую можно подумать, что она написана в наше время. Статья называется «Влияние правильного ухода и своевременного ремонта на долговечность сельскохозяйственных машин».

Рядом с ней статья группы авторов, выступавших под псевдонимом «Мастеровые», под названием «О типах ремонтных с.-х. мастерских», в которой

обосновывается целесообразность создания четырех типов мастерских: «тип «А» – первичный деревенский ремонтный пункт взамен неприспособленных существующих в некоторых местах деревенских кузниц, часто губящих машины при их ремонте»; «тип «Б» – групповая мастерская для района, в котором работает до 100 тракторов»; «тип «В» – районная мастерская со штатом: 1 заведующий, 1 или 2 механика, 2 токаря, 2 слесаря (один из них должен знать сва¬рочное дело), 2 кузнеца, 2 молотобойца, 1 столяр, 4 подручных, 1 кладовщик, 1 конторщик, 1 уборщик и 1 сторож»; «тип «Г» – базисная мастерская (ремонтный завод)», в характеристике которой приводится необходимость иметь штат 34 чел. В составе оборудования значатся: три токарных, три сверлильных, один строгальный, один фрезерный, один болторезный станки и силовая установка на 35-40 л.с.

Статья заканчивается словами: «В основу работ ремонтных мастерских мы кладем по преимуществу исключительно монтаж, избегая превращения мастерских в производственные заводы».

О работе первых крупных ремонтных мастерских, приспо¬собленных из ранее существовавших построек (в Евпатории, в Симферополе), сообщалось в ряде номеров этого журнала за 1928 г.

Первыми авторами статей по ремонту тракторов и сельскохозяйственных машин были С.Ф. Грай, С.И. Роленко, А.Р. Либерман, П.Т. Леонов, Д.А. Климов, А.Н. Оставнов, В.П. Ремер, Г.И. Доброхотов и другие.

Одновременно с созданием и оборудованием первых мастерских для ремонта тракторов и других машин велась работа по подготовке кадров специалистов – мастеров ремонтного дела. В Москве и других городах «Сельскосоюзом» в 1928 г. были созданы курсы руководителей ремонтом тракторов и сельскохозяйственных машин. В них велось практическое обучение групп механиков по 30-35 чел. монтажу тракторов, двигателей и по основным ремонтным операциям. Слушатели этих курсов в дальнейшем разъезжались на работу по всему Советскому Союзу.

Уже тогда ставили проблему обеспечения тракторов и сельскохозяйственных машин запасными частями, поднимали вопросы упорядочения работы складских баз и организации ремонта деталей (№11 журнала «Машина в деревне» 1928 г.).

В последующих номерах этого журнала (1929-1930 гг.) неизменно значительное место уделяли проблемам ремонта тракторов и сельскохозяйственных машин, хотя в то время речь шла о создании и развертывании работы всего лишь 200 мастерских. Тракторов тогда (1929 г.) насчитывалось около 25 тыс. шт., годовой план ремонта был равен 9 тыс. шт. (по РСФСР).

По технологии ремонта тракторов вначале публиковали в основном зарубежные рекомендации о заливке и расточке подшипников, о шлифовке цилиндров, притирке клапанов, о монтажных процессах.

Технологические и другие рекомендации специалистов того времени по ремонту машин охватывали довольно полно проблемы технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве (рис. 4). Это видно из названий статей журнала «Машина в деревне» за эти годы: С.И. Роленко «Очередные задачи в деле организации с.-х. ремонтных мастерских» (№2, 1928); Т.А. Животовский «Заливка и расточка коренных подшипников у трактора «Фордзон» (№2, 3, 4, 1928); С. Гнедич «О качестве ремонта» (№8, 1928); Д.А. Климов «Автогенная сварка при ремонте» (№6, 1928); Т.А. Животовский «Новейшие приспособления для тракторного монтажа» (№8, 9, 10, 11,

1928); А.Р. Либерман «О нормировании ремонтных работ» (№12,1929); Ю.Я. Гололобов «Машинно-тракторные станции» (№3, 1929) и другие.

Рис. 4. Критика кустарничества в ремонте тракторов в журнале «Машины в деревне» (1928 г.)

До книги А.Р. Либермана «Ремонтная машинно-тракторная мастерская», изданной в 1930 г., материалы по ремонту тракторов и сельскохозяйственных машин, по оборудованию для ремонта, технологии ремонта и т.п. публиковали лишь в качестве дополнительных разделов в руководствах по тракторам и сельскохозяйственным машинам (например, в книге А.Ф. Кастерина и И.Д. Школьника «Руководство по тракторному делу», издательство «Укравтопромторга», 1927 г., К.Н. Дебу «Уход за сельскохозяйственными машинами и орудиями» и др.).

Книги по монтажу и регулировке тракторов представляли собой только фирменные руководства или их переводы.

Одновременно с началом организации производства на Путиловском заводе в Ленинграде первых тракторов (1924 г.), проявили заботу и о подготовке кадров высшей квалификации — инженеров-механиков индустриального земледелия. Такую инициативу выразил, в частности, проф. Д.Н. Дьяков, при энергичном участии которого в 1923-1924 гг. открыли факультеты индустриального земледелия при Ленинградском политехническом институте им. М.И. Калинина и Московском Ломоносовском институте, реорганизованные в 1930 г. в специальные институты ЛИМСХ и МИМЭСХ.

Вскоре организовали первые факультеты механизации сельского хозяйства при Горьковском университете, при Донском политехническом институте в Новочеркасске, при Воронежском СХИ. Была создана значительная сеть курсов трактористов и первые техникумы механизации сельского хозяйства в Ленинграде, Москве, Воронеже, Саратове, Сталинграде, Ростове-на-Дону, Омске, Ростове Ярославском, Новочеркасске и других городах.

В 1929 г. «Зернотрест», являвшийся организатором большого количества первых крупных совхозов на Северном Кавказе, Северном Казахстане, Крыму, Поволжье и других местах, пригласил крупнейшего в то время

американского фермера Томаса Кемпбелла (его хозяйство имело тогда 85000 га земли). Он выступал с лекциями перед специалистами «Зернотреста», в которых делился опытом организации крупного хозяйства (включая подбор машин, подбор кадров механизаторов, техническое обслуживание).

Но одновременно с этим в сараях и плохо оборудованных мастерских неумелые, но желающие научиться тысячи механизаторов старательно осваивали монтаж машин, способы их ремонта, строили мастерские, устанавливали оборудование, накапливали опыт, который затем стал источником изучения и обобщения всего лучшего, что им удавалось достигнуть. Таким было начало нашего пути в деле технического обслуживания и ремонта техники в сельском хозяйстве СССР.

Выводы. В кратчайшие сроки в СССР наладили выпуск собственной сельскохозяйственной техники и освоили ремонт как импортной, так и отечественной агротехники. Огромную роль в этом сыграли первые статьи в первых журналах, переводные руководства по уходу за тракторами и их регулировке, реорганизация и импортное оснащение маленьких и слабых ремонтных мастерских, первые попытки организации подготовки кадров по обслуживанию и ремонту машин.

Библиографический список

1. Селиванов А.И. К истории развития технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в СССР // Труды ГОСНИТИ. 1967. Т. 12. С. 31-150.

2. Огородник И.А., Гречихин Д.С. История и этапы развития ремонтного производства в сельском хозяйстве. Минск: Медисонт. 2018. 690 с.

3. 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.

References

1. Selivanov A.I. The history of maintenance and repair of agricultural machinery in the USSR // Trudy GOSNITI. 1967. 12. 31-150.

2. Ogorodnik I.A., Grechikhin D.S. History and stages of development of repair production in agriculture. Minsk: Madison. 2018. 690.

3. Cench Yu.S., G.G. Maslov, E. G. Trubilin To the history of the development of agricultural machinery //Bulletin Bashkir state agrarian University. 2018. N3(47) P. 117-123.

О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА ДЛЯ РОССИИ В 1923 Г.

Андрей Владимирович Карасев, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: andrey.karasev@nami.ru
Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Реферат. *Декрет «О сельскохозяйственном машиностроении» от 1 апреля 1921 года предусматривал в организацию крупносерийного производства тракторов в России. (Цель исследования) Проанализировать историю выбора рационального типа сельскохозяйственного трактора для России. (Материалы и методы) Создали по предложению председателя Госплана Г.М. Кржижановского специальную тракторную комиссию, председателем которой стал Е.В. Пашковский. Кроме членов – сотрудников Госплана и специально приглашенных лиц, в ней участвовали представители Центрального управления земледелия, Земплана, Отдела механизации Наркомзема, Украинского совета народного хозяйства, Центрального производственного управления ВСНХ, Главметалла, Главпрофобра, Главного артиллерийского управления, Наркомвнешторга. Выработали три производственных плана постройки тракторов на 1923 год. Наметили выпуск тракторов типа «Фордзон» и типа WD (гусеничный Hanomag WD Z50, Германия, он же «Коммунар»). (Результаты и обсуждение) Отметили, что до Первой мировой войны в России механическая тяга по стоимости полевых работ была в большинстве случаев невыгодна из-за дешевизны рабочих рук и живой силы. Создали в начале 20-х годов отечественные тракторы «Гном», «Запорожец», «Могул». Начали разработку концепции семейства и проектирование гусеничных тракторов «Лабтрак» с нефтяными двухтактными двигателями. Выявили особенности трактора для эксплуатации в России: работающий на тяжелых сортах топлива двигатель и гусеничный ход, поскольку трактор на гусеницах может использоваться не только летом, но и зимой. (Выводы) Выбрали ориентировочный план из представленных Промсекцией Госплана, предусматривающий ежегодную постройку до 600 тракторов типа «Фордзон» в Ростове, до 1200 гусеничных тракторов в 50 лошадиных сил в Харькове и до 1600 тракторов в Петрограде. Однако сельское хозяйство страны так и не получило рациональный тип трактора массовой фабрикации. Не имея кредитов, выпускающие трактора предприятия сами не могли механизировать производство. Вследствие этого их продукция оставалось дорогой и низкокачественной, следовательно, маловостребованной на селе.*

Ключевые слова: *комиссия по тракторостроению, гусеничный трактор, колесный трактор, двухцилиндровый нефтяной двигатель, массовое производство, дизель.*

Для цитирования: *Карасев А.В. О выборе рационального типа сельскохозяйственного трактора для России в 1923 г. // Технический сервис машин. 2019. N2 (135). С. 208-0.*

ABOUT THE CHOICE OF RATIONAL TYPE OF THE AGRICULTURAL TRACTOR FOR RUSSIA IN 1923

Andrey V. Karasyov, Ph.D.(Eng.), research associate,
e-mail: andrey.karasev@nami.ru
Institute of history of natural sciences and equipment of S.I. Vavilov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The decree «About agricultural mechanical engineering» of April 1, 1921 provided in the organization of large-lot production of tractors in Russia. (Purpose of research) To analyse history of the choice of rational type of the agricultural tractor for Russia. (Materials and methods) Created the special tractor commission which chairman was E.V. Pashkovsky according to the proposal of the chairman Gosplan G.M. Krzhizhanovsky. Except members – employees of Gosplan and specially invited persons, representatives of Central office of agriculture, Zemplan, Department of mechanization of People's Commissariat for Agriculture, Ukrainian council of the national economy, the Central production office of VSNKh, Glavmetall, Glavprofobr, the Head artillery department, Narkomvneshtorga participated in it. Developed three production plans of construction of tractors for 1923. Planned release of tractors like Fordzon and the WD type (caterpillar Hanomag WD Z50, Germany, he is «Communard»). (Results and discussion) Noted that before World War I in Russia the mechanical draft at the cost of field works was in most cases unprofitable because of low cost of working hands and manpower. Created in the early twenties the domestic tractors «Gnome», «Zaporozhets», «Mogul». Began development of the concept of family and design of Labtrak catarpillars with oil two-stroke engines. Revealed features of the tractor for operation in Russia: the engine working at heavy grades of fuel and a caterpillar drive as the tractor on caterpillars can be used not only in the summer, but also in the winter. (Conclusions) Chose the indicative plan from presented by Promsektion Gosplana, providing annual construction to 600 tractors like Fordzon in Rostov, up to 1200 catarpillars in 50 horsepowers in Kharkiv and to 1600 tractors in Petrograd. However agriculture of the country did not receive rational type of the tractor of a mass fabrication. Without having the credits, the releasing tractors of the enterprise could not mechanize production. Thereof their products remained expensive and low-quality, therefore, low-demanded in the village.*

Keywords: *commission on tractor construction, catarpillar, wheel tractor, two-cylinder oil engine, mass production, diesel.*

For citation: *Karasyov A.V. About the choice of rational type of the agricultural tractor for Russia in 1923. Technical service of cars. 2019. N2 (135). 208-0.*

Введение. В 1921 г. 1 апреля вышел декрет «О сельскохозяйственном машиностроении», предусматривающий организацию крупносерийного производства тракторов. Интерес к проблеме механической тяги вызывали, во-первых, разногласия среди отечественных специалистов, и, во-вторых, неудачные попытки постройки тяжелых тракторов «Холт» на Обуховском заводе и тракторов «Фаулер» на бывшей фабрике Ильина. К августу 1919 г. Обуховский завод (г. Петроград) выпустил 3 первых советских трактора. Трактора были направлены на фронт для буксировки тяжелых орудий. Завод в 1918 г. получил заказ от Наркомата продовольствия на изготовление

2000 колесно-гусеничных тракторов по типу американского Холта мощностью 75 л. с., однако выпуск ограничился только первыми тремя.

Трактор Фаулер являлся копией английского 8-сильного автоплуга Fowler. В.И. Ленин требовал наладить массовое производство автоплугов, но к осени 1921 г. было выпущено только 5 шт. В начале января 1922 г. по настоянию В. И. Ленина в Москве состоялось первое судебное показательное разбирательство об автоплугах. Оно вошло в историю как ленинский урок борьбы с бюрократизмом и волокитой, но производству машин совершенно не помогло.

Цель исследования – проанализировать историю выбора рационального типа сельскохозяйственного трактора для России.

Материалы и методы. В Госплане, по предложению его председателя Г.М. Кржижановского, создали специальную тракторную комиссию, председателем которой стал Е.В. Пашковский. Кроме членов –сотрудников Госплана и специально приглашенных лиц, в ней участвовали представители Центрального управления земледелия, Земплана, Отдела механизации Наркомзема, Украинского совета народного хозяйства, Центрального производственного управления ВСНХ, Главметалла, Главпрофобра, Главного артиллерийского управления, Наркомвнешторга, Синдиката «Сельмаш», Госсельсклада НКЗ, Центросоюза, Юго-Восточной плановой комиссии, Северозапэкосо, Северо-Западного Промбюро, Сельскосоюза ГУВП, Главное управление государственного строительства, Госинститута опытной агрономии, Упшос НКПС, ВМТУ, Курского Губсельтреста, а также представители тракторных школ и тракторных государственных отрядов. После рассмотрения президиумом Госплана вопросы тракторного дела должны были передаваться в Совет труда и обороны для окончательного решения. В то время Госплан СССР выполнял только консультативную роль [1].

На промышленной секции заседания пленума Госплана (15 января 1923 г.) заслушали доклад специальной комиссии по тракторостроению при ЦПУ ВСНХ о плане тракторостроения в республике и выборе типов тракторов. Согласно представленному докладу комиссия выработала три производственных плана постройки тракторов на 1923 г.

К постройке намечались тракторы типа «Фордзон» и типа WD (гусеничный Hanomag WD Z50, Германия, он же «Коммунар»). Промсекция постановила признать чрезвычайную важность организации отечественного тракторостроения, отмечала очень тяжелую для России конъюнктуру получения тракторов из-за границы по причине отсутствия уверенности в доброкачественности получаемых машин [2].

Результаты и обсуждение. До Первой мировой войны в России механическая тяга по стоимости полевых работ была в большинстве случаев невыгодна из-за дешевизны рабочих рук и живой силы. В сельском хозяйстве страны находили применение не только стационарные двигатели, но предпринимались попытки использования тракторов, которые демонстрировались на выставках. Так, Н.Р. Брилинг был приглашен в Киев председателем жюри конкурса тракторов в рамках сельскохозяйственной ярмарки.

Тогда единственным трактором, успешно прошедшим все этапы испытаний оказался гусеничный «Хольт». Специально для тракторов южного района страны фирма «Бр. Нобель» даже держала в Самаре запас редкой так называемой белой Сураханской нефти (Айзербайджан) почти не содержащей парафин.

После войны число тракторов в стране возросло до 2000 штук, однако оказалось, что тракторных плугов имеется только 500 шт. Брянский завод не смог выполнить заказ 1918 г. на плуги.

Промышленная секция Госплана, интересуясь разрешением вопроса о выборе типа трактора для выпуска на отечественных заводах, помимо непосредственного изучения этого вопроса, обратилось 1923 г. в Научный автомоторный институт (НАМИ) с просьбой дать отзыв о тракторах отечественной конструкции: «Запорожец» Южно-Украинского Сельмаштреста, «Могул» Коломенского завода и трактора «Гном» Я.М. Мамина; а из заграничных конструкций – о тракторе «Фордзон» (США), как получившего наибольшее распространение [3].

Пионером отечественного тракторостроения стал Яков Васильевич Мамин (1873-1955 гг.), выпустивший со своего завода в Балакове первые тракторы с нефтяными моторами. Яков Васильевич происходил из крестьян, работал в качестве ученика слесаря под руководством Ф.А. Блинова, создавшего первый гусеничный самоход – паровой трактор. С 18 лет Я.В. Мамин работал на пароходе, сначала масленщиком, а затем помощником машиниста. В дальнейшем он перешел слесарем на завод Гильдербранта (г. Вольск). В возрасте 25-26 лет Я.В. Мамин организовал свою кузницу в Балаклаве и занялся ремонтом сельскохозяйственных орудий.

На Пензенской губернской сельскохозяйственной выставке сконструированный им плуг получил бронзовую медаль, а Я.В. Мамин – премию в 100 руб. Полученные деньги позволили расширить мастерскую и вместе с братом приступить к выпуску нефтяных двигателей по типу Гамиль-Акройд, в которые был внесен целый ряд изменений. В 1908 г. Я.В. Мамин приступил к постройке небольшого механического завода по производству нефтяных двигателей мощностью от 16 до 30 л. с.

Развивая свое дело, Я.В. Мамин построил в 1899 г. стационарный бескомпрессорный двигатель с воспламенением от сжатия. В период 1903-1908 гг. создает работоспособный промышленный образец дизеля этого типа и доводит их производство до 30 шт. в месяц.

Работы над созданием тракторов Я.В. Мамин начал с переконструирования американских колесных тракторов Кейс&К, приспособив их для работы на нефти. В 1910 г. появляется трактор «Карлик». В том же году началось производство «Русских тракторов». Было выпущено три модели тракторов: «Универсал», «Посредник» и «Прогресс». Модели мощностью 25 и 45 л. с. работали на пахоте с 3-корпусным и 6-корпусным плугом, а «Прогресс мощностью 60 л. с. – с 8-корпусным плугом.

Первая мировая война приостановила работу над тракторами. Тем не менее в 1917 г. Мамин испытывает собственный трактор с четырехтактным 2-цилиндровым двигателем, который, однако, успеха не имел. Поэтому был изготовлен 2-цилиндровый, 2-тактный двигатель вертикального типа, мощность в 5 л. с., послуживший прототипом двигателя трактора «Гном».

Трактор «Гном» выпустили в 1921 г. За него Я.В. Мамин получил патент от Комитета по изобретениям и денежную премию. Осенью 1922 г. по поручению Народного комиссариата земледелия он ездил в Германию по вопросу приобретения станков и оборудования для производства тракторов своей разработки.

Двигатель трактора «Гном» имел сжатие 18-25 атм., развивал мощность 18,7 л. с. при 500 об/мин. Подача топлива в двигателе осуществлялась насо-

сом, работающим от кулачка на коленчатом валу двигателя. Вместо калоризатора использовалась камера предварительного горения, позволяющая хорошо смешивать нефть с воздухом. Подача воды в цилиндр отсутствовала. Двигатель оснащался центробежным регулятором, размещенном в маховике. Для пуска двигателя использовались клапаны декомпрессора одного из цилиндров. Охлаждение двигателя жидкостное, термосифонное. Всасываемый воздух очищался, нефть подогревалась охлаждающей водой, очистка нефти производилась тремя фильтрами. Трактор имел 2 передачи, что позволяло ему двигаться со скоростью 2,75 версты в час и около 4-х верст в час. Двигатель запускал шкив для привода молотилок [4].

Отметив конструкционные недостатки трактора «Гном», директор НАМИ проф. Н.Р. Брилинг, отвечая на запрос Госплана, пояснил, что необходимо произвести подробное его испытание до начинала работы по массовому производству таких тракторов.

Государственное объединение машиностроительных заводов (Гомза), учитывая опыт постройки бывшей комиссией по тракторостроению в 1922 г. трактора Международной компании жатвенных машин International Harvester (США) «Могул» (Mogul) мощностью 25 л. с. создало по чертежам комиссии по тракторостроению под председательством инженера Петрова свой тип колесного трактора («Коломенец», «Коломзавод») с двухцилиндровым нефтяным двигателем Коломенского завода модели 1921 г. [5]. Данный двигатель при 550 об/мин развивал мощность 25 л. с. В продувном насосе использовали золотниковые диски. Маховики установили на обеих сторонах вала. Корпус форсунки охлаждался водой. Воду охлаждали посредством градирни. Использовали трансмиссию с двумя передачами, дающими скорость в 3 и 5,4 верст в час. Как и двигатель, трансмиссию устанавливали поперек трактора.

С точки зрения Н.Р. Брилинга, этот трактор стоял на первом месте в смысле производственных ресурсов [6].

Подготовительные работы по созданию небольшого трактора на южноукраинских сельскохозяйственных машиностроительных заводах начали еще до начала Первой мировой войны. Сильное сокращение количества рабочего скота выдвинуло вопрос о замене живой силы «механической лошадью». Поэтому технические руководители указанных предприятий, инженеры Г.Я. Ремпель и А.А. Унгер, по возобновлении в 1921 г. работы заводов, заручившись согласием запорожского Губметалла, приступили к постройке опытного трактора. Трактор выпустили в том же 1921 г. из частей и материалов, имеющихся на Кичкаских заводах (в менноннитской колонии с. Кичкас. Разработанный трактор «Запорожец» снабдили двухтактным нефтяным двигателем, вал которого располагался поперек рамы. Как и «Гном», он имел 3 колеса, из которых два передних – управляемые, а одно заднее – ведущее. Трактор успешно работал уже летом 1922 г. Невозможность использовать на юге и юге-востоке, где трактор является особенно желаемой машиной, хорошую мягкую воду заставил конструкторов отказаться от радиатора сотового типа [7].

Трактор имел одноцилиндровый двигатель, работающий на сырой нефти. При 400 об/мин он развивал мощность 12 л. с. В 1922 г. «Запорожец» был испытан комиссией Укрсовнархоза. Результаты испытания трактора повлияли на решение Сельмаштреста более энергично заняться тракторами. Для этого в сентябре 1922 г. в Кичкасе при Госзаводе № 14 была организовали

комиссию из 3 инженеров, занявшихся разработкой усовершенствованного трактора «Запорожец» В начале 1923 г. Госзавод № 14 приступил к постройке 10 новых тракторов. Первый трактор был закончен в марте. На тракторе использовался 12-сильный двигатель «Триумф» производства Госзавода № 8. Данный завод в г. Большой Токмак работал с 1909 г. и уже выпустил порядка 5 тыс. двигателей [8, 9].

За оригинальную конструкцию трактора применительно к условиям СССР при хорошей сборке, производительности и тяговых усилиях завод удостоился Почетного диплома I степени. Трактор «Запорожец» экспонировался в 1923 г. на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в Москве и был отмечен золотой медалью. Строительство тракторов «Запорожец» продолжалось до конца 1926 г.

Н.Р. Брилинг писал: «В общем предлагаемая конструкция заслуживает серьезного внимания, так как представляет машину крайне простую в производстве и эксплуатации, с малой первоначальной стоимостью, построенную из материалов, привычных нашему отечественному машиностроению, и доступную последующему ремонту в неблагоприятных условиях Российской действительности».

Американские Фордзоны закупались в больших количествах для нужд сельского хозяйства. Ежегодно завозилось порядка 10000 тракторов этой модели. Трактор «Фордзон» оснащался быстроходным керосиновым двигателем (1000-1200 об/мин) мощностью 22 л. с. Три передачи трансмиссии позволяли трактору двигаться со скоростью 2,1; 4,3; 11 км/ч. На заводе «Красный Путиловец» в 1923 г. началось производство трактора «Фордзон-Путиловец».

Н.Р. Брилинг отметил, что в смысле производства таких типов тракторов ставится вопрос о получении необходимого материала для литья, является затруднительным также и производство самих отливок, сложных по своей форме. «В наших условиях работа «Фордзона» сведется, по всей вероятности, к 1-2 сезонам. Мы в этой плоскости имеем печальный пример с тракторами «Клетрак», когда машины деликатной конструкции и требующие хорошего, умелого ухода и хорошего качества масла, в наших чрезвычайно скверных условиях эксплуатации в течение 2-х сезонов совершенно выведены из строя. Все это вместе взятое приводит к заключению, что тракторы «Фордзон» являются совершенно неподходящими для организации производства их на русских заводах, как типовой колесной машины для русских условий эксплуатации», – писал Н. Р. Брилинг.

По заданию Госплана применительно к техническим нормам межведомственной комиссии при НКПС тракторный отдел НАМИ в 1923 г. начал проектирование и разработку концепции семейства гусеничных тракторов «Лабтрак» с нефтяными двухтактными двигателями.

В работе «Тип трактора для России» инженера Д.К. Карельских рассматривались зарубежные конструкции, приводились данные по эксплуатационным испытаниям тракторов с различными движителями и их двигателей, работающих на различных топливах: нефти, бензоле, древесине, бензине и других, рассматривались экономические аспекты.

Изучив состояние тракторостроения за границей, Д.К. Карельских обосновавал особенности трактора для эксплуатации в России: работающий на тяжелых сортах топлива двигатель и гусеничный ход, поскольку трактор на гусеницах может использоваться не только летом, но и зимой. Концеп-

ция тракторов основывалась на результатах работ, проведенных в течение последних двух лет тракторной лабораторией НАМИ и Высшего Московского технического училища».

При выборе типа двигателя учитывался коэффициент полезного действия по испытаниям двигателей до 1914 г.:

– 4-тактные нефтяные 14,26%
– керосиновые 14,23%
– 2-тактные нефтяные 17,25%

Д.К. Карельских обуславливал рациональность производства унифицированных трех типов тракторов с гусеничным ходом, снабженных 2-тактным нефтяным двигателем с запальным шаром для крупных, средних и мелких хозяйств:

– «Лабтрак мод. 12» с одноцилиндровым двигателем, имеющий одну центральную гусеницу, управляемые колеса установлены на заднем конце машины;

– «Лабтрак мод. 24» с двухцилиндровым двигателем, двухгусеничным ходом с двумя передачами;

– «Лабтрак мод. 36» с трехцилиндровым вертикальным двигателем.

При разработке концепции широко использовали опыт государственных тракторных отрядов Наркомзема. Эксплуатация тракторов в российских условиях показывала преимущество устаревших, но менее сложных тракторов перед закупаемыми современными машинами, которые быстро и бесповоротно выбывали из строя.

Это было следствием слабой ремонтной и обслуживающей базы, низким уровнем обслуживающего персонала. Вышедший из строя трактор старой конструкций мог быть отремонтирован деревенским кузнецом. Более сложные технологически новые импортные тракторы требовали замены деталей или ремонта в заводских условиях.

В силу подобных обстоятельств стоимость механической обработки пашни тракторами значительно превышала стоимость обработки ее конной тягой. Удорожание сельскохозяйственных работ доходило до 50%.

Тем не менее в принятой резолюции тракторной комиссии указывалось: «Правильно организованная тракторная обработка зерновых культур дает удешевление стоимости обработки десятины по сравнению с конной и воловьей силой примерно на 30%, что подтверждается теоретическим подсчетом и практикой международных опытов». Из чего можно сделать вывод, что в расчет не был принят опыт практической эксплуатации тракторов в отечественных условиях.

Тракторная комиссия Госплана признала керосин основным топливом для тракторов. Переход на нефть, а в отдельных районах – спирт, был признан желательным. Конечно, сухие цифры статистики показывали преимущество керосиновых тракторов. Однако это было следствием массового производства тракторов в США, где уже была развернута широкомасштабная добыча легкой нефти в Техасе и ее переработка в керосин.

В СССР в первую очередь для производства наметили колесные тракторы типа «Фордзон» (США), гусеничные марки «ВД» (Германия), а также американские колесные тракторы типа «Титан» и гусеничные «Хольт». Признали желательными скорейшую постройку и испытания нефтяных тракторов «Гном» и «Запорожец» [10].

Выводы. Из представленных Промсекцией Госплана выбрали ориенти-

ровочный план, предусматривающий ежегодную постройку до 600 тракторов типа «Фордзон» в Ростове, до 1200 гусеничных тракторов в 50 л. с. в Харькове и до 1600 тракторов в Петрограде.

Для определения типов и мощностей тракторов, а также машин и орудий, наиболее соответствующих условиям юго-восточных и центральных районов СССР, в 1923 г. планировали проведение Международного тракторного конкурса.

4 апреля 1923 г. вышло постановление Совета Труда и Обороны об организации тракторостроения в СССР в соответствии с планом, разработанным и представленным комиссией Госплана СССР.

Это решение привело к тому что сельское хозяйство страны так и не получило рациональный тип трактора массовой фабрикации. Не имея кредитов, выпускающие трактора предприятия сами не могли механизировать производство. Вследствие этого их продукция оставалось дорогой и низкокачественной, следовательно, маловостребованной на селе.

Библиографический список

1. Бюллетень Госплана. Информативный журнал. М.: Информбюро Госплана. 1923. Вып. 2.

2. Карельских Д.К. Выбор типа сельскохозяйственного трактора для России // Бюллетень Научно-автомоторного института. 1923. N2-3.

3. Карасев А.В. Хроника автомоторного института 1918-1946. Смоленск: Свиток. 2010. 208 с.

4. Белянчиков П.М. Русский трактор «Гном» и его конструктор Я.В. Мамин // Мотор. N3-4. С. 118-120.

5. Львов Е.Д., Петров Ф.Ф. Русский нефтяной трактор Государственного Объединения Машиностр. Заводов (Гомзы), строящийся на Коломенском заводе // Мотор. N5. С. 180-192.

6. Брилинг Н.Р. Отзыв «НАМИ» о тракторах «Запорожец», Коломзавода, «Гном» и «Фордзон» // Труды Госплана. N4. С. 177-183.

7. Сладков Н.В. Несколько слов о русских тракторах «Гном» и «Запорожец» // Мотор. N3 4. С. 114-115.

8. Карельских Д.К. Тип трактора для России // Бюллетень Научно-автомоторного института. 1923. N4.

9. Судаков А.Н. Рациональный тип трактора с тепловым двигателем в Русском Сельском Хозяйстве // Технико-экономический вестник. 1922. N1

10. Тракторное дело в Государственной Общеплановой Комиссии Совета Труда и Обороны // Мотор. N2. С. 88-90.

References

1. Bulletin of the State Planning Committee. Informative magazine. M.: Information bureau of the State Planning Committee. 1923. Iss. 2.

2. Karelian D.K. The choice like the agricultural tractor for Russia. The Bulletin of Scientific and automotor institute. 1923. N2-3.

3. Karasyov A.V. Chronicle of automotor institute 1918-1946. Smolensk: Roll. 2010. 208.

4. Belyanchikov P.M. Russian Gnome tractor and its designer Ya.V. Mamin. Motor. N3-4. 118-120.

5. Lviv E.D., Petrov F.F. Russian oil tractor of the State Association Mashinostr. Plants (Gomza), under construction at the Kolomna plant. Motor. N5. 180-192.

6. Briling N.R. Otzyv's us about the «Zaporozhets» tractors, Kolomzavod, «Gnome» and Fordzon. Works of the State Planning Committee. N4. 177-183.

7. Sladkov N.V. Several words about the Russian tractors «Gnomes» and «Zaporozhets». Motor. N3-4. 114-115.

8. Karelian D.K. Tip of the tractor for Russia. The Bulletin of Scientific and automotor institute. 1923. N4.

9. Sudakov A.N. Rational type of the tractor with the heat engine in the Russian Agriculture//the Technical and economic messenger. 1922. N1.

10. Tractor matter in the State Obshcheplanovy Commission of Council of Work and Defense. Motor. N2. 88-90.