

ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ Научно-практический журнал

Выходит с 1930 года



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Ведущий журнал отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, публикующий объективную и всеобъемлющую информацию на самые актуальные темы:

- создание новых машин и оборудования для агропромышленного комплекса;
- проблемы регионального сельхозмашиностроения;
- эффективные отечественные и зарубежные технологии;
- рынок сельскохозяйственной техники;
- новости агросервиса;
- результаты испытания машин;
- фактические данные по качеству и надёжности с.-х. техники;
- советы механизаторам;
- предложения зарубежных фирм

Тракторы и сельхозмашины. № 6. 2021
Научное и техническое редактирование: к.т.н., проф. А.В. Лепёшкин
Редактор: А.В. Куркова
Компьютерная верстка: Ю.С. Акульшина
Дизайн обложки: М.С. Кузьменко
Фотография на обложке взята из открытых источников
Подписано в печать 28.12.21. Формат 60x90/8
Усл. печ. л. 8,8 Тираж 500 экз. Заказ 1-6901-iv
Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»
191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1
Тел.: +7 (812) 646-33-77

№ 6 • 2021



WWW.MOSPOLYTECH.RU



ВЕДУЩИЙ ЖУРНАЛ ОТРАСЛИ ТРАКТОРНОГО
И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

ISSN 0321-4443



9 770321 444005

WWW.MOSPOLYTECH.RU



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINERY

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с февраля 1930 г.

6•2021

Выходит 6 раз в год

ISSN 0321-4443

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6

Учредитель

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет»
- ООО «Эко-Вектор»

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 05.10.2021
ПИ № 77-81900

Журнал входит в перечень ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, а также в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Издатель

ООО «Эко-Вектор»

Адрес издательства:

191186, г. Санкт-Петербург,
Аптекарский переулок, д. 3, литера А,
помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru; «Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e_timoshenkova@ural-press.ru; «МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.
При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных, а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

КАМИНСКИЙ Валерий Наумович – профессор, доктор технических наук; профессор Московского политехнического университета, член Экспертного совета ветеранов (старейшин) отрасли поршневого двигателестроения России; заслуженный работник промышленности Московской области (Москва, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

ЛЕПЁШКИН Александр Владимирович – профессор, кандидат технических наук; профессор Московского политехнического университета, доцент Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

БАХМУТОВ Сергей Васильевич – профессор, доктор технических наук; заместитель генерального директора по научной работе Государственного научного центра РФ «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (Москва, Россия)

ГОДЖАЕВ Захид Адыгезалович – член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук; заместитель директора по инновационной и внедренческой деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва, Россия)

ГОРОДЕЦКИЙ Константин Исаакович – профессор, доктор технических наук; профессор Московского политехнического университета; заслуженный машиностроитель РФ (Москва, Россия)

ДЕВЯНИН Сергей Николаевич – профессор, доктор технических наук; профессор Российского государственного аграрного университета – МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ЕРОХИН Михаил Никитьевич – академик РАН, доктор технических наук; профессор Российского государственного аграрного университета – МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ЖАЛНИН Эдуард Викторович – профессор, доктор технических наук; заведующий отделом Федерального научного агроинженерного центра ВИМ; заслуженный деятель науки РФ (Москва, Россия)

ИЗМАЙЛОВ Андрей Юрьевич – академик РАН, доктор технических наук; директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва, Россия)

КОВАЛЁВ Михаил Михайлович – доктор технических наук; научный руководитель Федерального научного центра лубяных культур; заслуженный изобретатель РФ (Тверь, Россия)

КОТИЕВ Георгий Олегович – профессор, доктор технических наук; заведующий кафедрой Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; заслуженный деятель науки РФ (Москва, Россия)

КУТЬКОВ Геннадий Михайлович – профессор, доктор технических наук; профессор Российского государственного аграрного университета – МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева; заслуженный деятель науки и техники РФ (Москва, Россия)

ЛАЧУГА Юрий Фёдорович – академик РАН, доктор технических наук; академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, председатель Экспертного совета Отделения сельскохозяйственных наук РАН (Москва, Россия)

ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович – академик РАН, доктор технических наук; первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва, Россия)

ЛЯШЕНКО Михаил Вольфредович – профессор, доктор технических наук; заведующий кафедрой Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, Россия)

МАРЧЕНКО Андрей Петрович – профессор, доктор технических наук; проректор по научной работе НТУ ХПИ (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»), заместитель главы Совета проректоров по научной работе ВУЗов Украины, академик Академии высшей школы Украины, член-корреспондент Инженерной академии Украины (Харьков, Украина)

НАТРИАШВИЛИ Тамаз Мамиевич – академик Национальной академии наук Грузии, профессор, доктор технических наук; директор Института механики машин им. Р. Двали (ИММ); лауреат Национальной премии Грузии в области науки (Тбилиси, Грузия)

ПРЕДИГЕР Виктор – профессор, доктор технических наук; профессор Университета прикладных наук (Оснабрюк, Германия)

СКВОРЦОВ Аркадий Алексеевич – профессор, доктор физико-математических наук; проректор по исследованиям и разработкам Московского политехнического университета (Москва, Россия)

СОЛОВЬЁВ Рудольф Юрьевич – доцент, кандидат технических наук; директор Центра сельскохозяйственного машиностроения Государственного научного центра РФ «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (Москва, Россия)

СТАСИЛЕВИЧ Андрей Георгиевич – генеральный конструктор ОАО «МТЗ» (Минский тракторный завод) (Минск, Беларусь)

ФОМИН Валерий Михайлович – профессор, доктор технических наук; профессор Московского политехнического университета, член Экспертного совета ветеранов (старейшин) отрасли поршневого двигателестроения России (Москва, Россия)

ФУКС Кристиан – доктор технических наук; менеджер проекта по системам больших двигателей международной инженеринговой компании AVL List (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List – «Институт двигателей внутреннего сгорания „Лист“») (Грац, Австрия)

ШУМАН Олаф – генеральный директор ООО «ФЭВ Рус» международной инженеринговой компании FEV (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren – «Исследовательская компания по силовым агрегатам и двигателям внутреннего сгорания») (Аахен, Германия)

EDITOR-IN-CHIEF

Valery N. KAMINSKY – Professor, DSc in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University, Member of the Veterans (Elders) Expert Council of the Russian Piston Engine Industry; Honorary Worker of Industry of the Moscow Region (Moscow, Russia)

EXECUTIVE EDITOR

Alexander V. LEPESHKIN – Professor, PhD in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University, Associate Professor of Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Sergey V. BAKHMUTOV – Professor, DSc in Engineering; Professor, Deputy CEO for Research of the State Research Center of the Russian Federation NAMI (Moscow, Russia)

Zakhid A. GODZHAEV – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, DSc in Engineering; Deputy Director for Innovation and Implementation Activities of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)

Konstantin I. GORODETSKIY – Professor, DSc in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University; Honorary Mechanical Engineer of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Sergey N. DEVYANIN – Professor, DSc in Engineering; Professor of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Mikhail N. YEROKHIN – Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; Professor of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Eduard V. ZHALNIN – Professor, DSc in Engineering; Head of the Department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Honorary Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Andrey Yu. IZMAYLOV – Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)

Mikhail M. KOVALEV – DSc in Engineering; Research Advisor of the Federal Scientific Center for Bast Crops; Honorary Inventor of the Russian Federation (Tver, Russia)

George O. KOTIEV – Professor, DSc in Engineering; Head of the Department of Bauman Moscow State Technical University; Honorary Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Gennadiy M. KUTKOV – Professor, DSc in Engineering; Professor of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Honorary Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Yury F. LACHUGA – Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Chairman of the Expert Council of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Yakov P. LOBACHEVSKIY – Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)

Mikhail V. LYASHENKO – Professor, DSc in Engineering; Head of the Department of Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Andriy P. MARCHENKO – Professor, DSc in Engineering; Vice-Rector for Scientific-and-Research Work of National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute; Deputy Head of the Council of Vice-Rectors for Scientific and Research Work of Universities of Ukraine, Full Member of the Academy of Higher School of Ukraine, Corresponding Member of the Engineering Academy of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Tamaz M. NATRIASHVILI – Full Member of the Georgian National Academy of Sciences, Professor, DSc in Engineering; Director of Rafiel Dvali Institute of Machine Mechanics (IMM); Laureate of the Georgian National Prize in Science (Tbilisi, Georgia)

Viktor PREDIGER – Professor, DSc in Engineering (Dr.-Ing.); Professor of Osnabrück University of Applied Sciences (Osnabrück, Germany)

Arkadiy A. SKVORTSOV – Professor, DSc in Physics and Mathematics; Vice-President for Research and Development of Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)

Rudolf Yu. SOLOVYEV – Associate Professor, PhD in Engineering; Director of the Center for Agricultural Engineering at the State Research Center of the Russian Federation NAMI (Moscow, Russia)

Andrey G. STASILEVICH – General Designer of Minsk Tractor Works (Minsk, Belarus)

Valeriy M. FOMIN – Professor, DSc in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University; Member of the Veterans (Elders) Expert Council of the Russian Piston Engine Industry (Moscow, Russia)

Christian FUCHS – DSc in Engineering; Project Manager for Large Engine Systems, International Engineering Company AVL List (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List) (Graz, Austria)

Olaf SCHUMANN – CEO of LLC FEV Rus, International Engineering Company FEV (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren) (Aachen, Germany)

Колонка главного редактора	Editor-in-Chief's Column	5
СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ	PAGES OF HISTORY	
Игнатович И.В. О первых шагах по созданию отечественных нейтрализаторов отработавших газов автомобилей и тракторов	Ignatovich I.V. The first steps to create domestic neutralizers of exhaust gases for automobiles and tractors	6
НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	NEW MACHINES AND EQUIPMENT	
Сиротин П.В. Метод прогнозирования технического облика зерно- и кормоуборочных комбайнов новых поколений с обоснованием структуры их виброзащитной системы	Sirotin P.V. Method for predicting the technical appearance of grain and forage harvesters of new generations with a substantiation of the structure of their vibration protection system	15
ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ	THEORY, DESIGN, TESTING	
Газизуллин Р.Л., Чжэн Х., Котиев Г.О., Косицын Б.Б. Метод управления буксованием колесного движителя автомобиля и трактора	Gazizullin R.L., Chzhen Kh., Kotiyev G.O., Kositsyn B.B. Method of controlling the slipping of a wheel propeller of automobile and tractor	29
Панов А.Н. Прогнозирование циклической долговечности и анализ рисков несоответствий несущих конструкций мобильных машин	Panov A.N. Prediction of cyclic durability and risk analysis of inconsistencies in the supporting structures of mobile vehicles	45
Евсеев К.Б. Сравнительные исследования маневренности гусеничных поездов для транспортировки контейнеров	Yevseyev K.B. Comparative studies on the maneuverability of track trains for transportation of containers	54
Поддубный В.И. Математическое моделирование движения гусеничной машины с использованием прикладного пакета RecurDyn	Poddubnyy V.I. Mathematical modeling of the movement of a tracked vehicle using the RecurDyn application package	68
КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ	QUALITY, RELIABILITY	
Поливаев О.И., Пиляев С.Н., Болотов Д.Б. Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов, работающих с упругодемпфирующими приводами ведущих колес	Polivayev O.I., Pilyayev S.N., Bolotov D.B. Efficiency of use of machine and tractor units operating with elastic damping drives of driving wheels	76
Казанников О.В., Попов Е.В. Восстановление и легирование рабочих органов землеройных машин	Kazannikov O.V., Popov Ye.V. Restoration and alloying of working bodies of earth-moving machinery	82
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА	ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING	
Болоев П.А., Петров Н.В., Скрыбыкин Ф.А. Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса ЛиАЗ-5256.57 в эксплуатации	Boloyev P.A., Petrov N.V., Skrybykin F.A. Development of a methodology for rationing the route fuel consumption of the LiAZ-5256.57 bus in operation	90
Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В., Коломейченко А.С. Экономическая целесообразность использования технологии карбовибродугового упрочнения для упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин	Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Vinogradov V.V., Kolomeychenko A.S. Economic feasibility of using the technology of carbon-vibro-arc hardening for hardening the pointed paws of tillage machinery	99

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Перед вами заключительный, шестой, номер журнала за 2021 год.

Шаг за шагом мы приближаемся к одной из наших стратегических целей – индексации в международной наукометрической базе данных (МНБД) «Скопус». Запущен новый двуязычный сайт журнала, где в первом квартале 2022 года будут опубликованы четыре статьи, выбранные из выпусков 2021 года, с полным переводом на английский язык. Сотрудники журнала осваивают новый инструмент – «электронную редакцию». Надеемся, что авторы, читатели и партнеры издания присоединятся к этой форме работы. Для этого достаточно зарегистрироваться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/index> – и открыть там свой личный кабинет.

С первого номера 2022 года внедряется еще одно новшество, связанное с требованиями МНБД, – нумерация выпусков по томам (годам выхода). Сейчас уточняется история журнала в сложные послевоенные годы и, возможно (если подтвердится выход журнала в 1947 году), что в 2022 году выйдет 90-й том нашего издания.

В рубрике «Страницы истории» текущего номера мы публикуем воспоминания безвременно ушедшего Игоря Вячеславовича Игнатовича, одного из ведущих отечественных экспертов в области экологии транспортных средств, включая спецтехнику. Он плодотворно работал в лаборатории автомобильных нейтрализаторов ЦНИТА. В материале изложена история разработки и создания первых отечественных нейтрализаторов отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Статья подготовлена к печати Надеждой Ивановной Игнатович, супругой Игоря Вячеславовича, также многие годы трудившейся в области нейтрализации отработавших газов двигателей.

В наступающем году мы желаем вам крепкого здоровья, осуществления планов, удачи во всех начинаниях, упорства в преодолении трудностей, а также позитивного развития науки и отрасли, к которой все мы принадлежим.

*В.Н. Каминский,
д.т.н., профессор, главный редактор
журнала «Тракторы и сельхозмашины»*

Dear colleagues! Dear friends!

Here is the sixth final issue of the journal for 2021.

Step by step, we are approaching one of our strategic goals of indexing in the Scopus International Scientometric Databases (ISDB). A new bilingual journal website was launched and four papers selected from the 2021 editions will be published with full English translations in the first quarter of 2022. The staff of the journal is mastering a new tool – the electronic edition. We hope that authors, readers and partners of the journal will join this form of work. To do this, please, register on the website: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/index>, and create your personal account there.

Starting from the first issue of 2022, another innovation related to the requirements of the ISDB is being introduced. This is the numeration of issues by volumes (years of publication). Now we are clarifying the history of the journal in the difficult post-war years, and it is possible (if the journal's release in 1947 is confirmed) that the 90th volume of our journal will be published in 2022.

In the Pages of History section of this issue there are published the memoirs of the dearly departed Igor V. Ignatovich, who was one of the leading domestic experts in the field of vehicle ecology, including special equipment. He fruitfully worked in the Automotive Converters Laboratory of the Leningrad Central Scientific Research Institute of Fuel Equipment. The paper was prepared for publication by Nadezhda I. Ignatovich, the wife of Igor V. Ignatovich, who also worked for many years in the field of neutralization of exhaust gases from engines.

In the coming year, we wish you a good health, plans implementation, good luck in all your endeavors, perseverance in overcoming difficulties, as well as the positive development of science and the industry, where all of us belong.

*Valery N. Kaminskiy,
DSc in Engineering, Professor
Editor-in-Chief of the Tractors and Agricultural Machinery journal*

**РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ДАННОМ НОМЕРЕ ЖУРНАЛА
ABSTRACTS OF THE PAPERS**

**СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ
PAGES OF HISTORY**

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-6-14

О первых шагах по созданию отечественных нейтрализаторов отработавших газов автомобилей и тракторов

The first steps to create domestic neutralizers of exhaust gases for automobiles and tractors

к.т.н. Игнатович И.В.

I.V. Ignatovich, PhD in Engineering

МЭЛЦНИТА, ЛАН ЦНИТА, НИЛТД, Москва, Россия

Moscow Experimental Laboratory of the Leningrad Central Scientific Research Institute of Fuel Equipment, Automotive Converters Laboratory of the Leningrad Central Scientific Research Institute of Fuel Equipment, Engine Toxicity Research Laboratory, Moscow, Russia

В статье изложена история разработки и создания первых отечественных нейтрализаторов отработавших газов двигателей внутреннего сгорания, которая началась с испытаний и исследований зарубежных нейтрализаторов. Рассмотрены последовательные этапы конструирования, исследования и испытания отечественных нейтрализаторов для бензиновых и дизельных двигателей. Изложен процесс разработки методик испытаний двигателей на токсичность, создания оценочных показателей и разработки нормативно-технической документации в области токсичности двигателей и автомобилей.

Ключевые слова: *испытания, зарубежные нейтрализаторы, отечественные разработки, методики испытаний, стенд с беговыми барабанами, токсическая характеристика двигателя, автомобиля, нормативно-технические документы*

Для цитирования: Игнатович И.В. О первых шагах по созданию отечественных нейтрализаторов отработавших газов автомобилей и тракторов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 6-14. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-6-14

The article describes the history of the development and creation of the first domestic neutralizers of exhaust gases of internal combustion engines, which began with testing and research of foreign neutralizers. Sequential stages of design, study and testing of domestic converters for gasoline and diesel engines are considered. There are described the following processes: the process of developing methods for testing engines for toxicity and the process of creating estimated indicators and developing normative and technical documents in the field of toxicity of engines and vehicles.

Keywords: *tests, foreign neutralizers, domestic developments, test methods, test bench with running drums, toxic characteristics of an engine, vehicle, regulatory and technical documents.*

Cite as: I.V. Ignatovich The first steps to create domestic neutralizers of exhaust gases for automobiles and tractors. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 6-14 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-6-14

НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

NEW MACHINES AND EQUIPMENT

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-15-28

Метод прогнозирования технического облика зерно- и кормоуборочных комбайнов новых поколений с обоснованием структуры их виброзащитной системы***Method for predicting the technical appearance of grain and forage harvesters of new generations with a substantiation of the structure of their vibration protection system***

к.т.н. Сиротин П.В.

P.V. Sirotin, PhD in Engineering

*Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) им.
М.И. Платова, Новочеркасск, Россия
spv_61@mail.ru*

*Platov South-Russian State Polytechnic
University, Novocherkassk, Russia
spv_61@mail.ru*

Работа посвящена разработке метода прогнозирования технического прогресса самоходных зерно- и кормоуборочных комбайнов и обоснованию систем для их реализации. Обоснована необходимость совершенствования существующих и разработки новых методов прогнозирования свойств машин с учетом сложившихся особенностей функционирования предприятий агропромышленного комплекса. Предложена новая методика синтеза технического облика изделий с возможностью выделения номенклатуры определяющих параметров на основе фактического изменения их значений, ранжирования показателей с выделением наиболее важных из них для каждой категории хозяйствующих субъектов, прогнозирования методами нечеткой логики, а также обоснования требуемых систем машин новых поколений с помощью методов объектно-ориентированного проектирования. Приведено описание каждого из этапов процесса прогнозирования. На основе серийно производимых в России зерно- и кормоуборочных комбайнов проведен анализ их конструктивной эволюции с выделением устойчивых и наследуемых критериев развития. Показан сравнительный анализ фактического изменения определяющих параметров для машин текущего и предыдущего поколений. Приведена методика и результаты прогнозирования выделенных определяющих параметров. Показано, что прогнозируемый уровень свойств формирует разнонаправленные требования, которые с точки зрения реализации на основе существующих подходов конструирования противоречивы, а с учетом имеющихся проблем динамики движения и вибрационной нагруженности рабочего места операторов машин текущего поколения - недостижимы. С помощью методов объектно-ориентированного анализа составлена объектно-целевая диаграмма классов возможных вариантов построения виброзащитной системы машин нового поколения. Определены отношения наследования, установившие иерархическую декомпозицию целей. На основе проведенного анализа показано, что управление выделенными вибрационными процессами комбайнов без существенных изменений их конструкции и компоновки целесообразнее вести посредством систем динамической стабилизации корпуса и виброизоляции рабочего места оператора.

Ключевые слова: комбайн, эволюция, прогнозирование, определяющий параметр, метод Мамдами, метод Саати, алгоритм, объектно-целевой анализ, виброзащитная система

Для цитирования: Сиротин П.В. Метод прогнозирования технического облика зерно- и кормоуборочных комбайнов новых поколений с обоснованием структуры их виброзащитной системы // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 15-28. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-15-28

The work is devoted to the development of a method for predicting the technical progress of self-propelled grain and forage harvesters and the substantiation of systems for their implementation.

The necessity of improving the existing and developing new methods for predicting the properties of machinery, taking into account the existing features of the agro-industrial enterprises operation, were substantiated. A new technique for the synthesis of the technical appearance of products is proposed with the possibility of identifying the nomenclature of defining parameters based on the actual change in their values, ranking indicators with highlighting the most important of them for each category of business entities, forecasting using fuzzy logic methods, as well as justification of required machine systems of new generations using object-oriented design methods. A description of each of the stages of the forecasting process is given. On the basis of mass-produced grain and forage harvesters in Russia, an analysis of their constructive evolution with the allocation of stable and inherited development criteria has been carried out. A comparative analysis of the actual change in the defining parameters for machinery of the current and previous generations is shown. The technique and the results of forecasting the selected defining parameters are presented. It is shown that the predicted level of properties forms multidirectional requirements, which, from the point of view of implementation on the basis of existing design approaches, are contradictory. Taking into account the existing problems of motion dynamics and vibration loading of the workplace of operators of machinery of the current generation, it is stated that those multidirectional requirements are unattainable. Using the methods of object-oriented analysis, an object-target diagram of classes of possible options for constructing a vibration protection system for machinery of a new generation has been compiled. The relations of inheritance, which established the hierarchical decomposition of goals, were determined. It is shown that it is more expedient to control the selected vibration processes of combines without significant changes in their design and layout by means of systems for dynamic stabilization of the body and vibration isolation of the operator's workplace.

Keywords: *harvester, evolution, forecasting, determining parameter, Mamdani method, Saati method, algorithm, object-target analysis, vibration protection system*

Cite as: P.V. Sirotin Method for predicting the technical appearance of grain and forage harvesters of new generations with a substantiation of the structure of their vibration protection system. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 15-28 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-15-28

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

THEORY, DESIGN, TESTING

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-29-44

Метод управления буксованием колесного движителя автомобиля и трактора

Method of controlling the slipping of a wheel propeller of automobile and tractor

Газизуллин Р.Л.,
Чжэн Х.,
д.т.н. Котиев Г.О.,
д.т.н. Косицын Б.Б.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
rlgazizullin@bmstu.ru

R.L. Gazizullin,
H. Zheng,
G.O. Kotiyev, DrSc in Engineering
B.B. Kositsyn, DrSc in Engineering

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia
rlgazizullin@bmstu.ru

Известно, что с ростом буксования колесного движителя возрастают как потери энергии, так и до определенного предела реализуемая тяговая сила. В связи с этим для снижения потерь энергии на движение машины необходимо ограничивать буксования колес на уровне, достаточном для создания требуемой тяги. Большинство существующих алгоритмов, направленных на реализацию указанного ограничения, требуют информации о линейной скорости транспортного средства. Однако, измерение последней с заданной точностью вне

лабораторных условий затруднительно, что в ряде случаев приводит к нарушению работоспособности алгоритма управления. Поэтому актуальным является разработка метода управления для противобуксовочной системы, в частности, для случая разгона, согласно которому возможна оценка и ограничение буксования колес в заданных пределах при неизвестных характеристиках опорной поверхности и скорости движения машины.

Статья посвящена разработке метода оценки и ограничения буксования колесного движителя на уровне, достаточном для реализации потребных тяговых сил без использования данных о линейной скорости транспортного средства и сцепных свойствах опорной поверхности.

В статье приводится описание математической модели динамики прямолинейного движения «четверти» автомобиля по твердой ровной горизонтальной опорной поверхности. Посредством виртуальных экспериментов, имитирующих разгон «четверти» автомобиля с малым буксованием, была установлена взаимосвязь между силой тяги на оси колеса и кинематическими параметрами вращательного движения, которые являются измеряемыми и могут контролироваться в процессе движения транспортного средства, например, применением динамометрических колес. На основе полученного критерия был разработан регулятор, позволяющий ограничить буксование колес при разгоне транспортного средства. Эффективность разработанного регулятора доказывается математическим моделированием разгона «четверти» автомобиля с различной интенсивностью по двум типам опорных поверхностей, а также обосновывается аналитически, при условии постоянства скольжения колеса в пределах интервала измерений.

В работе представлен подход к оценке и ограничению скольжения колес транспортного средства при разгоне с применением регулятора, основанного на «нечеткой» логике. Также приведено теоретическое обоснование предложенного метода, не требующего информации о линейной скорости транспортного средства и сцепных свойствах колеса с опорной поверхностью.

В ходе исследования был разработан алгоритм работы противобуксовочной системы, который позволяет ограничивать буксование колеса на заданном уровне с сохранением достаточного запаса по тяге, что приводит к снижению износа шин, снижению вероятности потери подвижности и повышению энергоэффективности транспортного средства.

Ключевые слова: буксование, противобуксовочная система, колесо, колесный движитель.

Для цитирования: Газизуллин Р.Л., Чжэн Х., Котиев Г.О., Косицын Б.Б. Метод управления буксованием колесного движителя автомобиля и трактора // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 29-44. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-29-44

An increase in the slipping of a wheel propeller leads both to the energy loss and, up to a certain limit, the traction force increase. In this regard, in order to reduce energy losses for the movement of the vehicle, it is necessary to limit wheel slip at a level sufficient to create the required traction. Most of the existing algorithms aimed at implementing this constraint require information about the vehicle's linear speed. However, measuring the latter with a given accuracy outside laboratory conditions is difficult, which in some cases leads to a malfunction of the control algorithm. Therefore, it is relevant to develop a control method for the traction control system; in particular, for the case of acceleration, which will make it possible to estimate and limit wheel slip within specified limits with unknown characteristics of the supporting surface and the vehicle speed.

The article is devoted to the development of a method for assessing and limiting slipping of a wheeled engine at a level sufficient to realize the required tractive forces without using data on the vehicle's linear speed and adhesion properties of the supporting surface.

The article describes the mathematical model of the dynamics of the rectilinear movement of the “quarter” of the vehicle on a solid flat horizontal support surface. Through virtual experiments simulating the acceleration of a “quarter” of the vehicle with low slip, there was established a relationship between the traction force on the wheel axle and the kinematic parameters of the rotational motion, which are measurable and can be controlled during the movement of the vehicle, for example,

using dynamometric wheels. On the basis of the obtained criterion, a regulator was developed to limit wheel slip during vehicle acceleration. The effectiveness of the developed regulator is proved by mathematical modeling of the acceleration of a “quarter” of the vehicle with different intensities on two types of supporting surfaces. It is also substantiated analytically provided that the wheel slip is constant within the measurement interval.

The paper presents an approach to assessing and limiting the slip of the wheels of a vehicle during acceleration using a regulator based on fuzzy logic. A theoretical justification of the proposed method is given. It does not require information about the linear speed of the vehicle and the adhesion properties of a wheel with a supporting surface.

An algorithm for the operation of the traction control system was developed. It allows to limit wheel slip at a given level while maintaining a sufficient margin of traction, which leads to a decrease in tire wear, a decrease in the likelihood of loss of mobility and an increase in the energy efficiency of the vehicle.

Keywords: *slipping, traction control, wheel, wheel propeller.*

Cite as: R.L. Gazizullin, KH. Chzh•en, G.O. Kotiyev, B.B. Kositsyn Method of controlling the slipping of a wheel propeller of automobile and tractor. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 29-44 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-29-44

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-45-53

Прогнозирование циклической долговечности и анализ рисков несоответствий несущих конструкций мобильных машин

Prediction of cyclic durability and risk analysis of inconsistencies in the supporting structures of mobile vehicles

к.т.н. Панов А.Н.

ЮПС-ПУСЬ, Санкт-Петербург, Россия
a.panov@tut.by

A.N. Panov, PhD in Engineering

URS Russia, Saint-Petersburg, Russia
a.panov@tut.by

Надежность и безопасность мобильных машин, определяется их несущей системой. Достижение малой вероятности отказа конструкций и сокращение затрат на технику возможно при изменении традиционных методов прогнозирования надежности и применения анализа рисков, а также использования риск-ориентированного проектирования. Целью работы является - разработка методик прогнозирования циклической долговечности элементов, крепежа сборных несущих конструкций и анализа для достижения приемлемых рисков мобильных машин на этапах риск-ориентированного проектирования. Для методического обеспечения риск-ориентированного проектирования разработаны соответствующие методики и стандарты позволяющие применять новые методы конструирования и расчета создателям тракторной и сельскохозяйственной техники. Предложено ввести в существующую систему обозначений конструкторско-технологической документации идентификаторы для параметров - показатели приоритета и достигать при проектировании вероятности появления каждой потенциальной причины отказа до заданного уровня риска с учетом приоритета. Инструментом достижения малых вероятностей отказа является построение диаграмм причинно-следственных связей отказов - «источник причины и последствия» на основе метода дедукции и индукции. Разработана расчетно-экспериментальная методика прогнозирования надежности (ресурс), по критерию циклической долговечности несущих конструкций и крепежа. Методика основывается на локальном моделировании зон зарождения повреждений с учетом влияния конструкторско-технологических факторов производства, имитации нагрузочного режима мобильной машины, ее зон повреждений. Для расчета используются: метод конечных элементов, экспериментальная оценка нагруженности, характеристики сопротивления усталости несущих элементов, заклепок и болтов, гипотезы накопления повреждений.

Анализ рисков проводится с использованием методики FMEA. В результате анализа рисков в вероятностной постановке делается вывод о возможном ущербе для поставщика - количестве мобильных машин, которые не обеспечат выполнение заявленных требований по заданному ресурсу и гарантийному пробегу. Таким образом появляются данные для оценивания рисков и принятия решения о целесообразности перепроектирования техники. Созданное методическое обеспечение прогнозирования циклической долговечности и анализа рисков для реализации риск-ориентированного проектирования позволяет: устранять неконкурентоспособный уровень качества продукции и качества производства, а также низкую эффективность и производительности труда; применять новые технологии проектирования, методики конструирования и подготовки производства сокращающие сроки разработки. Разработанные методы и средства риск-ориентированного подхода широко апробированы и применяются в практике автотракторосельхозмашиностроения.

Ключевые слова: *мобильные машины, несущие конструкции, прогнозирование, ресурс, риски, риск-ориентированное проектирование*

Для цитирования: Панов А.Н. Прогнозирование циклической долговечности и анализ рисков несответствий несущих конструкций мобильных машин // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 45-53. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-45-53

The reliability and safety of mobile vehicles is determined by their carrier system. Achieving a low probability of failure of structures and reducing the cost of equipment is possible by changing the traditional methods of predicting reliability and applying risk analysis, as well as using risk-based design. The aim of the work is to develop methods for predicting the cyclic durability of elements, fastening prefabricated load-bearing structures and analysis to achieve acceptable risks of mobile vehicles at the stages of risk-oriented design. The methods and standards were developed in order to provide methodological support of risk-based design. Those allow designers and engineers to use new methods of design and calculation of tractor and agricultural machinery. It is proposed to introduce into the existing notation system of design and technological documentation the identifiers for parameters as the priority indicators and to achieve when designing the probability of occurrence of each potential cause of failure up to a given level of risk, taking into account priority. The tool for achieving low failure probabilities is the construction of diagrams of cause-and-effect relationships of failures is the source of cause and effect based on the method of deduction and induction. A calculation and experimental method for predicting reliability, according to the criterion of cyclic durability of load-bearing structures and fasteners was developed. The technique is based on local modeling of damage initiation zones, taking into account the influence of design and technological factors of production, simulating the load mode of a mobile vehicle, its damage zones. The following are used for the calculation: finite element method, experimental load assessment, fatigue resistance characteristics of load-bearing elements, rivets and bolts, damage accumulation hypotheses. Risk analysis is carried out using the FMEA methodology. As a result of the risk analysis in a probabilistic formulation, a conclusion is made about the possible damage to the supplier - the number of mobile vehicles that will not ensure the fulfillment of the stated requirements for a given resource and warranty mileage. Thus, data for assessing risks and making a decision on the advisability of redesigning equipment appear. The created methodological support for predicting cyclic durability and risk analysis for the implementation of risk-based design allows: to eliminate the uncompetitive level of product quality and production quality, as well as low efficiency and labor productivity; apply new design technologies, design and production preparation methods that reduce development time. The developed methods and means of the risk-based approach have been widely tested and are used in the practice of auto-tractor-agricultural machine building.

Keywords: *mobile vehicles, load-bearing structures, forecasting, resource, risks, risk-based design.*

Cite as: A.N. Panov Prediction of cyclic durability and risk analysis of inconsistencies in the supporting structures of mobile vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 45-53 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-45-53

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-54-67

***Сравнительные исследования маневренности гусеничных поездов для
транспортировки контейнеров***

***Comparative studies on the maneuverability of track trains for transportation of
containers***

к.т.н. Евсеев К.Б.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
kb_evseev@bmstu.ru

K.B. Yevseyev, PhD in Engineering

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia
kb_evseev@bmstu.ru

Для повышения проходимости наземных безрельсовых транспортных средств для внедорожных контейнерных перевозок наземным способом целесообразно использовать гусеничные поезда. При движении гусеничных поездов необходимо обеспечить высокие показатели профильной проходимости при преодолении препятствий в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Свойство маневренности определяет способность гусеничных поездов сохранять подвижность при маневрировании в плане и зависит от принятых конструктивно-компоновочных решений и статической поворотливости. В статье исследуется маневренность гусеничных поездов для двух вариантов конструктивно-компоновочных решений: гусеничный одношарнирный седельный полуприцепной поезд и двухшарнирный гусеничный поезд. Движение каждого из гусеничных поездов сравнивается по критерию энергоэффективности с учетом двух способов поворота: кинематического и силового способов поворота.

Определен вариант конструктивно-компоновочного исполнения гусеничного поезда, имеющий лучшую статическую поворотливость и меньший габаритный радиус поворота.

Для оценки энергоэффективности используется метод имитационного математического моделирования, учитывающий особенности взаимодействия движителя с опорным основанием. В статье приводится описание регуляторов, которые используются в математической модели и обеспечивают поворот гусеничных поездов с минимальным радиусом. Для сравнения энергоэффективности выполнения маневров рассмотрены несколько расчетных схем: с одним активным звеном или с двумя активными звеньями.

В результате определен способ поворота, который целесообразно использовать для обеспечения высокой поворотливости гусеничных поездов, и определено влияние длины опорных поверхностей гусениц активных звеньев на энергоэффективность. Кроме этого, приведены результаты сравнения гусеничных поездов по критерию энергоэффективности.

Ключевые слова: *гусеничный поезд, энергоэффективность, маневренность, контейнерные перевозки, поворотливость, законы управления поворотом*

Для цитирования: Евсеев К.Б. Сравнительные исследования маневренности гусеничных поездов для транспортировки контейнеров // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 54-67. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-54-67

To increase the cross-country ability of ground trackless vehicles for off-road container transportation by land, it is advisable to use track trains. When moving track trains, it is necessary to ensure high profile cross-country ability when overcoming obstacles in the vertical and horizontal planes. The property of maneuverability determines the ability of track trains to maintain mobility when maneuvering in the plan and depends on the adopted design and layout solutions and static agility. The article examines the maneuverability of track trains for two variants of design and layout solutions: a track single-articulated semi-trailer train and a double-articulated track train. The movement of each of the track trains is compared according to the criterion of energy efficiency, taking into account two methods of turning: kinematic and power turning methods.

A variant of the design and layout of a track train was determined. It has better static agility and

a smaller overall turning radius.

To assess energy efficiency, the method of simulation mathematical modeling is used, taking into account the peculiarities of the interaction of the driving machine with the support base. The article provides a description of the regulators that are used in the mathematical model and provide the turn of caterpillar trains with a minimum radius. To compare the energy efficiency of performing maneuvers, several design schemes are considered: with one active link or with two active links.

A turning method was determined. It is advisable to use it to ensure high turnability of track trains. The effect of the length of the bearing surfaces of caterpillars active links on energy efficiency is determined as well. In addition, the results of a comparison of track trains according to the criterion of energy efficiency are given.

Keywords: *caterpillar train, energy efficiency, maneuverability, container transportation, agility, laws of turn control.*

Cite as: K.B. Yevseyev Comparative studies on the maneuverability of track trains for transportation of containers. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 54-67 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-54-67

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-68-75

Математическое моделирование движения гусеничной машины с использованием прикладного пакета RecurDyn

Mathematical modeling of the movement of a tracked vehicle using the RecurDyn application package

д.т.н. Поддубный В.И.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
poddubny@list.ru*

V.I. Poddubnyy, DrSc in Engineering

*Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
poddubny@list.ru*

Математическое моделирование движения позволяет на стадии проектирования произвести оценку влияния конструктивных и эксплуатационных параметров гусеничных машин на их работоспособность, определить качественные и количественные показатели работы, рассмотреть вопросы управляемости. Применение программы RecurDyn с библиотекой специализированных пакетов расширения позволяет получить математическую модель машины, учитывающую её конструкцию с задаваемой степенью детализации. С использованием пакетов расширения Professional и библиотеки Track(НМ) пакета расширения Toolkit разработана модель гусеничной машины с торсионной подвеской, позволяющая проводить симуляцию стандартных маневров на различных опорных поверхностях. В пакете расширения CoLink реализована модель управления, обеспечивающая движение гусеничной машины по задаваемой траектории. За основу при разработке модели управления движением принята методика, основанная на прогнозировании положения машины через заданное время прогноза. В качестве управления принята разность скоростей забегающей и отстающей гусениц, обеспечивающая движение по задаваемой траектории. Разность скоростей ΔV определяется с использованием PID – регулирования по величинам бокового отклонения машины от задаваемой траектории и углового отклонения продольной оси машины от касательной к траектории в прогнозируемом положении. Модель управления позволяет симулировать движение машины с дифференциалом и планетарным механизмом поворота. Проведено моделирование движения по круговой траектории и маневра «змейка». Имитировалось движение гусеничной машины с планетарным механизмом поворота по твердой опорной поверхности с коэффициентом трения 0.7. На основании результатов моделирования сделан вывод об адекватности математической модели гусеничной машины и работоспособности представленной модели управления движением. Разработанная модель позволяет симулировать различные маневры

гусеничной машины для оценки устойчивости движения и управляемости, определять рациональные параметры гусеничного движителя по результатам моделирования движения при различных высотах неровностей и скоростях движения.

Ключевые слова. Математическое моделирование, гусеничная машина, мехатронная система, прикладной пакет RecurDyn, модель управления движением.

Для цитирования: Поддубный В.И. Математическое моделирование движения гусеничной машины с использованием прикладного пакета RecurDyn // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 68-75. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-68-75

Mathematical modeling of motion allows at the design stage to assess the impact of the design and operational parameters of tracked vehicles on their performance, determine the qualitative and quantitative performance indicators, and consider controllability issues. The use of the RecurDyn application with a library of specialized extension packages allows to obtain a mathematical model of the vehicle, taking into account its design with a specified degree of detail. A model of a tracked vehicle with a torsion bar suspension was developed using the Professional extension packs and the Track (HM) library of the Toolkit extension package. It allows simulating standard maneuvers on various supporting surfaces. The CoLink extension package implements a control model that ensures the movement of the tracked vehicle along a given trajectory. The basis for the development of the motion control model is a technique based on predicting the position of the vehicle after a given forecast time. As a control, the speed difference between the leading and lagging tracks was adopted. It ensures movement along a given trajectory. The difference in speeds ΔV is determined using PID - regulation by the values of the lateral deviation of the vehicle from the given trajectory and the angular deviation of the longitudinal axis of the vehicle from the tangent to the trajectory in the predicted position. The control model allows to simulate the movement of a vehicle with a differential and a planetary rotation mechanism. The simulation of movement along a circular trajectory and the snake maneuver was carried out. The movement of a tracked vehicle with a planetary steering mechanism on a solid support surface with a friction 0.7 coefficient was simulated. Based on the simulation results, a conclusion about the adequacy of the mathematical model of the tracked vehicle and the performance of the presented motion control model was made. The developed model allows simulating various maneuvers of a tracked vehicle to assess the stability of movement and controllability, to determine the rational parameters of the tracked mover based on the results of simulation of movement at various heights of irregularities and speeds of movement.

Keywords: mathematical modeling, tracked vehicle, mechatronic system, RecurDyn application package, motion control model.

Cite as: V.I. Poddubnyy Mathematical modeling of the movement of a tracked vehicle using the RecurDyn application package. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 68-75 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-68-75

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ
QUALITY, RELIABILITY

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-76-81

Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов работающих с упругодемпфирующими приводами ведущих колес***Efficiency of use of machine and tractor units operating with elastic damping drives of driving wheels***д.т.н. Поливаев О.И.,
к.т.н. Пиляев С.Н.,
Болотов Д.Б.O.I. Polivaev, DSc in Engineering
S.N. Pilyaev, PhD in Engineering
D.B. Bolotov*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия, BDB1998@ya.ru**Voronezh State Agrarian University n.a. Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia, BDB1998@ya.ru*

В настоящее время в сельском хозяйстве актуальным направлением является наращивание объемов производства продукции. Для этого необходимо иметь мощные энергетические средства, работающие на высоких скоростных режимах. Но при этом возникают повышенные колебания в трансмиссии трактора, которые передаются от почвы. Эти колебания негативно влияют на узлы и агрегаты мобильного энергетического средства, приводят к росту расхода топливо-смазочных материалов, ухудшению плавности хода, а также оказывают отрицательное воздействие на здоровье оператора транспортного средства. По этой причине необходимо совершенствовать конструкцию современных мобильных энергетических средств. Анализ работ по этой тематике показал, что наиболее эффективным способом защиты от динамических нагрузок со стороны внешних воздействий является установка упругих элементов в конечном звене трансмиссии. В работе проанализированы различные конструкции упругодемпфирующих приводов (УДП). Была предложена конструкция УДП ведущих колес (патент на полезную модель РФ №203460). Предлагаемый лопастной УДП жестко закреплен на диске колеса и имеет две полости. Полость прямого хода соединена с двумя газогидравлическими аккумуляторами, один из которых имеет регулируемый дроссель, а вторая полость, обратного хода, соединена с одним газогидравлическим аккумулятором. Обе полости демпфера заполнены магнитно-реологической жидкостью, вязкость которой изменяется электромагнитными катушками, в зависимости от изменений колебаний момента на полуосях. Приводы были установлены на трактор МТЗ-80.1. Исследования проведены в составе транспортного и пахотного агрегатов. При работе с транспортным агрегатом по грунтовой дороге за счет УДП снижается буксование движителей и повышается скорость движения на 6-9%. При работе трактора на пахоте, буксование движителей снижается на 10-16%, а скорость движения повышается на 7-12%. Это повышает производительность тракторного агрегата на 6-12%.

Ключевые слова: *упругодемпфирующий привод, колебания, ведущее колесо, машинно-тракторный агрегат.*

Для цитирования: Поливаев О.И., Пиляев С.Н., Болотов Д.Б. Эффективность использования машинно-тракторных агрегатов работающих с упругодемпфирующими приводами ведущих колес // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 76-81. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-76-81

Nowadays an urgent direction in agriculture is the issue of increasing the volume of production. In order to do this, it is necessary to have powerful energy facilities operating at high speed modes. But at the same time, the increased vibrations appear in the tractor transmission, which are transmitted from the soil. These fluctuations negatively affect the units and assemblies of the mobile power

plant, lead to an increase in the consumption of fuel and lubricants, a deterioration in the ride smoothness, and also have a negative effect on the health of the vehicle operator. For this reason, it is necessary to improve the design of modern mobile power tools. Analysis of works on this topic has shown that the most effective way to protect against dynamic loads from external influences is the setting of elastic elements in the final link of the transmission. The paper analyzes various designs of elastic damping drives (EDD). The design of the EDD of driving wheels was proposed (utility model patent of the Russian Federation No. 203460). The proposed blade EDD is rigidly fixed on the wheel disk and has two cavities. The forward stroke cavity is connected to two gas-hydraulic accumulators, one of which has an adjustable throttle, and the second cavity of the return stroke is connected to one gas-hydraulic accumulator. Both cavities of the damper are filled with a magneto-rheological fluid, which viscosity changes by electromagnetic coils, depending on changes in the oscillations of the moment on the semi-axes. The drives were installed on the MTZ-80.1 tractor. The studies were carried out as part of transport and arable units. When working with a transport unit on a dirt road due to the EDD the slipping of the propellers is reduced and the speed of movement is increased by 6-9%. When the tractor is plowing, the skidding of the propellers is reduced by 10-16%, and the speed of movement is increased by 7-12%. This increases the productivity of the tractor unit by 6-12%.

Keywords: *elastically damping drive, fluctuations, driving wheel, machine and tractor unit.*

Cite as: O.I. Polivayev, S.N. Pilyayev, D.B. Bolotov Efficiency of use of machine and tractor units operating with elastic damping drives of driving wheels. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 76-81 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-76-81

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-82-89

Восстановление и легирование рабочих органов землеройных машин

Restoration and alloying of working bodies of earth-moving machinery

к.т.н. Казанников О.В.,
Попов Е.В.

*Тихоокеанский Государственный
университет, Хабаровск, Россия
oleg97k@mail.ru*

O.V. Kazannikov, PhD in Engineering
Ye.V. Popov

*Pacific National University, Khabarovsk, Russia
oleg97k@mail.ru*

При эксплуатации строительно-дорожных и землеройных машин наибольшему изнашиванию подвергаются их рабочие органы, в особенности: коронки рыхлителей, ножи отвалов, зубья ковшей экскаваторов. Предельное состояние деталей характеризуется потерей массы изношенных элементов рабочих органов, имеющих непосредственный контакт с грунтом на 25–35%. Выбракованные во время ремонта детали направляется на утилизацию или восстановление. Срок службы некоторых, наиболее нагруженных деталей при работе с тяжелыми грунтами составляет несколько часов. Известен факт, что потребность в коронках для землеройной техники у предприятий, задействованных на дорожно-строительных и карьерных работах в Дальневосточном регионе измеряется десятками тысяч штук в год. Пополнение запасов быстро изнашиваемых деталей заставляет реализовывать сложные логистические схемы из-за отдаленности объектов от центров производства деталей, и всегда сопровождается значительными затратами. Поэтому проблема восстановления и упрочнения изношенных коронок рыхлителей и зубьев ковшей экскаваторов является весьма актуальной. Данную проблему различные производственные и научные организации решают уже давно, причем достаточно высокие результаты в этом направлении были получены после ряда разработок в институте электросварки имени Е.О. Патона в направлении способа электрошлаковой наплавки (ЭШН). На основе этого способа были созданы различные технологические процессы вос-

становления массивных деталей. Использование ЭШН позволяет не только восстанавливать детали со значительным износом, но и получать соответствующие конструкторским требованиям или улучшенные функциональные свойства, которые при восстановлении рабочих органов строительных и дорожных машин обеспечат повышение их стойкости. В данной работе рассматривается возможность восстановления изношенных коронок рабочих органов землеройных машин методом ЭШН, с применением, в качестве легирующих добавок рудных концентратов, добываемых на Дальнем Востоке.

Ключевые слова: *коронка рыхлителя; рабочие органы землеройных машин; наплавка электрошлаковая; элементы легирующие; электрод; трак гусеничный; процесс технологический; флюс; износостойкость*

Для цитирования: Казанников О.В., Попов Е.В. Восстановление и легирование рабочих органов землеройных машин // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 82-89. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-82-89

During the operation of road-building and earth-moving machinery, their working bodies are subjected to the greatest wear, in particular: crowns of rippers, blades of dumps, teeth of excavator buckets. The limiting state of parts is characterized by a 25–35% loss of mass of worn elements of working bodies that have direct contact with the ground. Rejected during repair parts are sent for recycling or restoration. The service life of some of the most loaded parts when working with heavy soils is several hours. The need for crowns for earthmoving equipment from enterprises involved in road construction and quarrying in the Far East region is measured in tens of thousands of pieces per year. Replenishment of stocks of wear parts makes it necessary to implement complex logistics schemes due to the remoteness of facilities from the centers of production of parts, and is always accompanied by significant costs. Therefore, the problem of restoring and strengthening worn crowns of rippers and teeth of excavator buckets is very relevant. Various industrial and scientific organizations have been solving this problem for a long time, and quite good results in this direction were obtained after a number of developments at the E.O. Paton Electric Welding Institute in the direction of the method of electroslag facing (ESF). Based on this method, various technological processes for the restoration of massive parts were created. The use of ESF allows not only to restore parts with significant wear, but also to obtain the corresponding design requirements or improved functional properties. These, when restoring the working bodies of construction and road vehicles, will increase their durability. The paper considers the possibility of restoring worn crowns of working bodies of earth-moving vehicles by the ESF method, using ore concentrates mined in the Far East as alloying additives.

Keywords: *ripper crown; working bodies of earth-moving electroslag facing; alloying elements; electrode; caterpillar track; technological process; flux; wear resistance.*

Cite as: O.V. Kazannikov, YE.V. Popov Restoration and alloying of working bodies of earth-moving machinery. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 82-89 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-82-89

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-90-98

***Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса
ЛИАЗ-5256.57 в эксплуатации***

***Development of a methodology for rationing the route fuel consumption of the LIAZ-
5256.57 bus in operation***

д.т.н. Болоев П.А.¹,
к.т.н. Петров Н.В.²,
Скрыбыкин Ф.А.³

P.A. Boloyev¹, DrSc in Engineering
N.V. Petrov², PhD in Engineering
F.A. Skrybykin³

¹Бурятский государственный университет,
Улан-Удэ, Россия,

¹Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude,
Russia

²Октемский филиал Арктического
государственного агротехнологического
университета, Якутск, Россия.

²Oktem branch of the Arctic State
Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

³Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Амосова, Якутск,
Россия
petnikvad1988@mail.ru

³North-Eastern Federal University, Yakutsk,
Russia
petnikvad1988@mail.ru

В статье анализируются пригородные автобусные перевозки по конкретным маршрутам в Республике Саха (Якутия). Для экспериментального исследования был выбран маршрут № 101 «Якутск - Табага» общей протяженностью 31 км. Приведено расписание движения автобусов МУП «Якутское пассажирское транспортное предприятие (ЯПАК)» на пригородном маршруте. Изучены основные технические данные автобуса ЛиАЗ-5256.57. В соответствии с международными правилами для автобусов, определение количества топлива расход и удельные выбросы нормированных токсичных компонентов осуществляется с использованием ездового цикла на работающих барабанах. Для расчета расхода топлива используется методика моделирования показателей работы двигателя, обеспечивающих изменение тягово-скоростных характеристик автомобиля в соответствии с используемым установленным ездовым циклом. Результаты расчетного расхода топлива для ездового цикла NEDC сравниваются с экспериментальными данными. В качестве сравнения расчетных и теоретических данных о расходе топлива с практическими данными рассматривается двигатель Cummins типа CG 250. Двигатель внутреннего сгорания установлен на автобусе ЛиАЗ-5256.57. Экспериментальные данные по расходу топлива этого автобуса на 100 километра пробега (км) показал 49 нм³, а теоретические расчеты расхода топлива автобуса на 100 км по предлагаемому способу показал 48 нм³.

Таким образом, для оценки тягово-скоростных характеристик автобуса может быть использован предложенный комбинированный метод, позволяющий получить расчет расхода топлива, более близкий к экспериментальным данным по ездовому циклу. По исходным данным автомобиля оцениваются эффективные показатели работы двигателя. Предложен расчетный метод моделирования испытаний и экспериментальный ездовой цикл автомобильного транспорта общей массой более пяти тонн.

Ключевые слова: ускорение, замедление, ездовой цикл, эксперимент, расход топлива, пригородные автобусы.

Для цитирования: Болоев П.А., Петров Н.В., Скрыбыкин Ф.А. Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса ЛИАЗ-5256.57 в эксплуатации // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 90-98. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-90-98

The article analyzes suburban bus transportation on specific routes in the Republic of Sakha (Yakutia). Route No. 101 Yakutsk - Tabaga with a total length of 31 km was chosen for the experimental study. The timetable for the movement of buses of the municipal unitary enterprise Yakutsk Passenger Transport Enterprise (YAPAK) on the suburban route is given. The main technical data of the LiAZ-5256.57 bus were studied. In accordance with international rules for buses, the determination of the amount of fuel consumption and specific emissions of normalized toxic components is carried out using a driving cycle on working drums. A technique to calculate fuel consumption is used for modeling engine performance indicators that provide a change in the traction and speed characteristics of the vehicle in accordance with the established driving cycle. The calculated fuel consumption results for the NEDC driving cycle are compared with experimental data. As a comparison of calculated and theoretical data on fuel consumption with practical data, a Cummins type CG 250 engine is considered. The internal combustion engine is installed on the LiAZ-5256.57 bus. Experimental data on the fuel consumption of this bus per 100 kilometers (km) showed 49 nm³, and theoretical calculations of the fuel consumption of the bus per 100 km using the proposed method showed 48 nm³.

Thus, to assess the traction and speed characteristics of the bus, the proposed combined method can be used, which makes it possible to obtain a calculation of fuel consumption that is closer to the experimental data on the driving cycle. Based on the initial data of the vehicle, the effective performance of the engine is evaluated. A computational method for modeling tests and an experimental driving cycle for motor vehicles with a total mass of more than five tons are proposed.

Keywords: *acceleration, deceleration, driving cycle, experiment, fuel consumption, commuter buses.*

Cite as: P.A. Bolojev, N.V. Petrov, F.A. Skrybykin Development of a methodology for rationing the route fuel consumption of the LIAZ-5256.57 bus in operation. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 6, pp. 90-98 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-90-98

DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-99-104

Экономическая целесообразность использования технологии карбовибродугового упрочнения для упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин

Economic feasibility of using the technology of carbon-vibro-arc hardening for hardening the pointed paws of tillage machinery

к.т.н. Титов Н.В.¹,
д.т.н. Коломейченко А.В.²,
к.т.н. Виноградов В.В.¹,
к.э.н. Коломейченко А.С.³

N.V. Titov¹, PhD in Engineering
A.V. Kolomeychenko², DrSc in Engineering
V.V. Vinogradov¹, PhD in Engineering
A.S. Kolomeychenko³, PhD in Economics

¹ Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, Россия, *ogau@mail.ru*

¹Orel State Agrarian University, Orel, Russia, *ogau@mail.ru*

² Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», Москва, Россия, *kolom_sasha@inbox.ru*

²Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia, *kolom_sasha@inbox.ru*

³ Колледж железнодорожного и городского транспорта, Москва, Россия, *alla.kolomeychenko@mail.ru*

³College of Railroad and Urban Transportation, Moscow, Russia, *alla.kolomeychenko@mail.ru*

В статье дается описание разработанной авторами рациональной технологии карбовибродугового упрочнения (КВДУ) с использованием многокомпонентной пасты рабочих поверхностей стрелчатых лап почвообрабатывающих машин. Проведена экономическая оценка целесообразности использования КВДУ для упрочнения стрелчатых лап. При прове-

дении исследований в качестве основы многокомпонентной пасты для КВДУ использовали порошок ПГ-ФБХ6-2, керамическим компонентом пасты служил карбид бора B_4C , массовое содержание криолита составляло 10%. КВДУ осуществляли на установке ВДГУ-2, для формирования упрочняющих композитных покрытий использовали угольный электрод диаметром 8 мм. При реализации разработанной технологии вначале производят зачистку рабочей части лапы, затем приготавливают многокомпонентную пасту, наносят ее на упрочняемые поверхности и высушивают до отверждения, после чего производят КВДУ с формированием композитного покрытия и осуществляют контроль полученного покрытия. Рациональный состав многокомпонентной пасты по результатам комплекса проведенных исследований должен быть следующим: порошок ПГ-ФБХ6-2 – 60% по массе, B_4C – 30% по массе, криолит – остальное. Рациональные режимы КВДУ: сила тока – 70...80 А, частота вибрации угольного электрода – 25 Гц, амплитуда вибрации электрода – 1,1 мм. Толщина сформированного упрочняющего композитного покрытия составляет 0,9...1,0 мм, а его твердость – 70...72 HRC. Разработанная технология благодаря невысоким дополнительным капитальным вложениям может использоваться как в небольших мастерских фермерских хозяйствах, так и в условиях специализированных ремонтно-восстановительных предприятий. Проведенный расчет экономической эффективности разработанной технологии упрочнения стрелчатых лап показал, что ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии составит 120191 рубль при упрочнении 430 лап культиваторов КШУ-12Н. Таким образом, разработанная технология экономически целесообразна и может быть рекомендована к внедрению в производство.

Ключевые слова: *стрелчатая лапа, карбовибродуговое упрочнение, композитное покрытие, многокомпонентная паста, экономическая эффективность.*

Для цитирования: Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В., Коломейченко А.С. Экономическая целесообразность использования технологии карбовибродугового упрочнения для упрочнения стрелчатых лап почвообрабатывающих машин // *Тракторы и сельхозмашины*. 2021. № 6. С. 99-104. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-6-99-104

The article describes the rational technology of carbo-vibro-arc hardening (CVAH) developed by the authors using a multicomponent paste of the working surfaces of the pointed paw of tillage machinery. An economic assessment of the feasibility of using CVAH for strengthening pointed paws was carried out. PG-FBK_h6-2 powder was used for research as the basis of a multicomponent paste for CVAH. The boron carbide B_4C served as a ceramic component of the paste, the mass content of cryolite was 10%. CVAH was carried out on a VDGU-2 installation. A carbon electrode of 8 mm in diameter was used to form reinforcing composite coatings. The implementation of developed technology involves firstly the cleaning of working part of the paw. Then a multicomponent paste is prepared, it is applied to the surfaces, hardened and dried until cured. After it the CVAH is done with the formation of a composite coating and the resulting coating is monitored. The rational composition of the multicomponent paste according to the results of a set of studies should be as follows: PG-FBK_h6-2 powder – 60 % by weight, B_4C – 30 % by weight, cryolite – the rest. Rational CVAH modes: current strength – 70 ... 80 A, carbon electrode vibration frequency - 25 Hz, electrode vibration amplitude – 1,1 mm. The thickness of the formed reinforcing composite coating is 0.9...1.0 mm, and its hardness is 70...72 HRC. The developed technology, due to low additional capital investments, can be used both in small workshops of farms and in the conditions of specialized repair and restoration enterprises. The calculation of the economic efficiency of the developed technology for strengthening pointed paws showed that the expected annual economic effect from the introduction of the technology will be 120,191 rubles with the hardening of 430 blades of KShU-12N cultivators. Thus, the developed technology is economically feasible and can be recommended for implementation in production.

Keywords: *pointed paw, carbo-arc hardening, composite coating, multi-component paste, economic efficiency.*

Cite as: N.V. Titov, A.V. Kolomeychenko, V.V. Vinogradov, A.S. Kolomeychenko Economic feasibility of using the technology of carbon-vibro-arc hardening for hardening the pointed paws of tillage machinery. *Traktory i*

