

# ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»



**НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ**

**2 (48)  
2021**

Известия МГТУ «МАМИ»

№ 2 (48) 2021



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

**Адрес университета:**

107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, 38

тел./факс: (495) 223-05-28

[www.mospolytech.ru](http://www.mospolytech.ru) • [publication@mami.ru](mailto:publication@mami.ru)

Известия МГТУ «МАМИ» № 2 (48) 2021 г.  
Научное и техническое редактирование: к.т.н., проф. А.В. Лепешкин  
Корректура: Д.С. Сквородникова  
Компьютерная верстка: Ю.С. Акулишина  
Дизайн обложки: И.Е. Эффа  
Подписано в печать 16.07.21. Формат 60×90/8  
Усл.п.л. 13,0. Тираж 500 экз. Заказ № 68  
Отпечатано в типографии Издательства Московского Политеха  
Адрес Издательства: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, 16  
Тел. (495) 276-33-67  
E-mail: [izdat.mospolytech@yandex.ru](mailto:izdat.mospolytech@yandex.ru)  
Сайт: [www.mospolytech/izdat](http://www.mospolytech/izdat)

Прием авторских статей:  
тел.: (495) 276-32-79  
e-mail: [publication@mami.ru](mailto:publication@mami.ru)

Размещение рекламы:  
тел.: (495) 276-33-67  
e-mail: [izdat.mami@yandex.ru](mailto:izdat.mami@yandex.ru)

Распространение и подписка:  
тел.: (495) 276-33-67  
e-mail: [izdat.mami@yandex.ru](mailto:izdat.mami@yandex.ru)



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

# ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»

ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

VEHICLES AND POWER PLANTS

№ 2 (48) 2021

Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-0530

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2

## В номере

2	<b>Годжаев З.А., Годжаев Т.З., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Искалиев А.И.</b> Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований к виброзащите оператора трактора	<b>Godzhayev Z.A., Godzhayev T.Z., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Iskaliyev A.I.</b> Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration protection of a tractor operator
9	<b>Гришин А.И.</b> Влияние на характеристику линейного перистальтического насоса формы сечения и длины сжимаемых участков	<b>Grishin A.I.</b> Influence of the cross-sectional shape and length of the compressible sections on the characteristics of a linear peristaltic pump
18	<b>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.</b> Разработка методики расчета оптимального распределения электрической мощности между энергоблоками КЭС	<b>Ilichev V.Y., Yurik E.A.</b> Development of methodology for calculation of optimal distribution of electric power between power units of condensing power plant
26	<b>Зуев С.М., Малеев Р.А., Шматов Ю.М., Широков П.С., Яхутль Д.Р.</b> Исследование комбинированного привода автопоезда	<b>Zuyev S.M., Maleyev R.A., Shmatkov YU.M., Shirokov P.S., Yakhutl' D.R.</b> Study of the combined drive of the road train
36	<b>Малышев А.Н., Груненков Е.А., Дебелов В.В., Мизин М.Д., Козловский В.Н.</b> Имитационное моделирование системы контроля изоляции высоковольтной электросети транспортного средства с гибридной силовой установкой	<b>Malyshev A.N., Grunenkov YE.A., Debelov V.V., Mizin M.D., Kozlovskiy V.N.</b> Simulation of the insulation monitoring system of the high-voltage electrical network of a vehicle with a hybrid power plant
51	<b>Падалкин Б.В.</b> Исследование составляющих сопротивления повороту гусеничной машины на плотном опорном основании	<b>Padalkin B.V.</b> Investigation of the components of the cornering resistance of a tracked vehicle on a solid support base
63	<b>Сарач Е.Б., Ткачев Я.А., Крохин М.Э.</b> Выбор характеристик системы поддрессоривания быстроходного гусеничного робота	<b>Sarach YE.B., Tkachev YA.A., Krokhin M.E.</b> Selection of the characteristics of the suspension system of the high-speed tracked robot
71	<b>Киреева В.А., Труханов К.А.</b> Оптимизация переходных процессов следящего пневматического привода с учетом модели трения с эффектом Штрибека	<b>Kireyeva V.A., Trukhanov K.A.</b> Optimization of transient processes of the pneumatic servo drive taking into account the friction model with the Stribeck effect
81	<b>Ципилев А.А., Наказной О.А.</b> Исследование систем поддрессоривания опытных танков СССР второй половины 20 века	<b>Tsipilev A.A., Nakaznoy O.A.</b> Study of suspension systems for experimental tanks of the USSR in the second half of the 20th century
93	<b>Жилейкин М.М., Чугунов Д.С.</b> Алгоритм работы антиблокировочной системы для двухосных автомобилей с одной ведущей осью с адаптивным перераспределением тормозных усилий	<b>Zhileykin M.M., Chugunov D.S.</b> Algorithm of anti-lock braking system for two-axle vehicles with one driving axle with adaptive redistribution of braking forces
101	<b>Шабанов А.В., Кондратьев Д.В., Ванин В.К., Дунин А.Ю.</b> К вопросу повышения эффективности систем нейтрализации оксидов азота в дизельных ДВС	<b>Shabanov A.V., Kondratiev D.V., Vanin V.K., Dunin A.Yu.</b> The issue of improving the efficiency of nitrogen oxide neutralization systems in diesel internal combustion engines

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

**ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ  
VEHICLES AND POWER PLANTS**

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8

***Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований к  
виброзащите оператора трактора***

***Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration  
protection of a tractor operator***

Член-корр. РАН, д.т.н. Годжаев З.А.<sup>1</sup>,  
Годжаев Т.З.<sup>1</sup>,  
д.т.н. Ляшенко М.В.<sup>2</sup>,  
д.т.н. Шеховцов В.В.<sup>2</sup>,  
к.т.н. Искалиев А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ  
ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия  
fic51@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический университет»  
(ВолгГТУ), Волгоград, Россия  
shehovtsov@vstu.ru

Z.A. Godzhayev<sup>1</sup>, DSc in Engineering,  
Corresponding member of the Russian Academy  
of Sciences

T.Z. Godzhayev<sup>1</sup>,  
M.V. Lyashenko<sup>2</sup>, DSc in Engineering  
V.V. Shekhovtsov<sup>2</sup>, DSc in Engineering  
A.I. Iskaliyev<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup>Federal Agroengineering Center VIM, Moscow,  
Russia

fic51@mail.ru,  
<sup>2</sup>Volgograd State Technical University,  
Volgograd, Russia  
shehovtsov@vstu.ru

В статье рассмотрены основные требования российских и зарубежных нормативных документов по виброзащите рабочего места оператора колесных и гусеничных машин и выполнен их сравнительный анализ. Нормирование параметров общей вибрации на рабочих местах операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин в нашей стране происходит согласно требованиям СН 2.2.4/2.1.8.566-96, ГОСТ 12.1.012-2004 и ГОСТ 12.2.019-2015. В качестве критериев оценки выделяются среднеквадратические значения виброускорений за определенный период воздействия в каждой октавной (третьоктавной) полосе частот. Они сравниваются на предмет соответствия с регламентируемыми значениями из определенного стандарта. На международном уровне объектом соответствия принят стандарт ISO 2631-1: 1997, который устанавливает требования вертикальной и горизонтальной вибрации с определенным временем воздействия на человека от 1 мин до 24 часов в диапазоне частот от 1 Гц до 80. В статье показано, что наиболее жесткие требования по уровню локальной вибрации установлены в Российской Федерации. Ими предусматривается четкая регламентация по виду выполняемых работ, длительности, величине, направлению действующих нагрузок и т.д. Относительно мягких требований придерживаются в большинстве стран Европы, кроме Польши, где ПДУ регулируется с учетом возраста, пола и состояния человека. Кроме того, в нормативных документах большинства иностранных государств присутствуют два, а иногда и три показателя: пороговые (верхнее и нижнее) значения и ПДУ. При достижении порогового значения обычно начинаются первичные меры по противодействию вредным факторам.

**Ключевые слова:** колесные и гусеничные машины, рабочее место оператора, вибрационные воздействия, требования нормативных документов.

The paper discusses the main requirements of Russian and foreign regulatory documents on vibration protection of the operator's workplace of wheeled and tracked vehicles. Their comparative analysis was performed. The normalization of the parameters of general vibration at the workplaces of operators of tractors and self-propelled agricultural vehicles in our country occurs in accordance with the requirements of SN 2.2.4 / 2.1.8.566-96, GOST 12.1.012-2004 and GOST 12.2.019-2015. The root-mean-square values of vibration accelerations for a certain period of exposure in each octave (one-third octave) frequency band are allocated as the evaluation criteria. They are compared for compliance with the regulated values from a specific standard. At the international level, the object of compliance is the ISO 2631-1: 1997 standard, which establishes the requirements for vertical and horizontal vibration with a certain exposure time on a person from 1 minute to 24 hours in the frequency range from 1 to 80 Hz. The article shows that the most stringent requirements for the level of local vibration are established in the Russian Federation. They provide clear regulation of the type of work performed, duration, magnitude, direction of existing loads, etc. Relatively soft requirements are in most European countries, except Poland, where the MPL is regulated taking into account the age, gender and condition of a person. In addition, in the regulatory documents of most foreign countries there are two and sometimes three indicators: threshold (upper and lower) values and MPL. When the threshold is reached, primary measures are usually initiated to counter harmful factors.

**Keywords:** wheeled and tracked vehicles, operator's workplace, vibration effects, regulatory requirements.

**Для цитирования:** Годжаев З.А., Годжаев Т.З., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Искалиев А.И. Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований к виброзащите оператора трактора // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 2-8. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8

**Cite as:** Z.A. Godzhayev, T.Z. Godzhayev, M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, A.I. Iskaliyev Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration protection of a tractor operator. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2(48), pp. 2–8 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-9-17

### **Влияние на характеристику линейного перистальтического насоса формы сечения и длины сжимаемых участков**

#### ***Influence of the cross-sectional shape and length of the compressible sections on the characteristics of a linear peristaltic pump***

Гришин А.И.

A.I. Grishin

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», Москва, Россия  
foxmcloud@rambler.ru

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia  
foxmcloud@rambler.ru

В обзорной части работы кратко представлены наиболее распространенные существующие конструкции насосов перистальтического принципа действия, а также основные области их применения. Основная часть работы посвящена исследованию влияния на работу перистальтического насоса с линейно расположенной трубкой формы поперечного сечения трубки в области сжимаемых участков, а также соотношения размеров выжимных элементов, пе-

риодически сжимающих трубку насоса в поперечном направлении. Исследования проводились посредством численных экспериментов в программе STAR-CCM+, которая основана на методе контрольного объема. В результате проведенных вычислений было получено, что применение выступов на внутренней поверхности трубки дает положительный эффект, если выступы имеют особую криволинейную форму с плавным переходом около внутренней поверхности трубки, причем увеличение создаваемого давления и подачи больше в том случае, если выступы присутствуют только в области сжатия трубки первым выжимным элементом. При этом угол наклона характеристики насоса меняется так, что положительный эффект не наблюдается в области малых значений создаваемого давления. Изучение влияния различных соотношений длин сжимаемых участков трубки на создаваемые насосом подачу и давление показало, что для исследуемого в работе неполного сжатия трубки насоса наиболее благоприятным является использование выжимных элементов одинаковой длины. Как для трубки без выступов, так и для трубки с выступами, применение второго выжимного элемента большей или меньшей длины, чем длина остальных выжимных элементов при одной и той же суммарной длине всех трех сжимаемых участков, приводит к увеличению утечек при неполном сжатии трубки, и, таким образом, снижает подачу насоса.

**Ключевые слова:** перистальтический насос, взаимодействие жидкости и твердого тела, вычислительная гидродинамика.

In the overview part of the work, the most common existing designs of pumps of the peristaltic principle of operation, as well as the main areas of their application, are briefly presented. The main part of the work is devoted to the study of the influence on the operation of a peristaltic pump with a linearly arranged tube of the shape of the cross-section of the tube in the region of the compressible sections, as well as the ratio of the sizes of the release elements periodically compressing the pump tube in the transverse direction. The studies were carried out through numerical experiments in the STAR-CCM + program, which is based on the control volume method. As a result of the carried out calculations, it was found that the use of protrusions on the inner surface of the tube gives a positive effect if the protrusions have a special curvilinear shape with a smooth transition near the inner surface of the tube, and the increase in the generated pressure and feed is greater if the protrusions are present only in the compression region tube with the first squeeze element. In this case, the discharge angle of the pump characteristic changes so that a positive effect is not observed in the region of small values of the generated pressure. The study of the influence of different ratios of the lengths of the compressible sections of the tube on the flow and pressure created by the pump showed that for the incomplete compression of the pump tube investigated in the work, the use of squeeze elements of the same length is favorable. Both for a tube without protrusions and for a tube with protrusions, the use of a second squeeze element of greater or lesser length than the length of the remaining squeeze elements with the same total length of all three compressible sections leads to an increase in leakage when the tube is not fully compressed, and thus reduces the pump flow.

**Keywords:** peristaltic pump, fluid-solid interaction, computational fluid dynamics.

**Для цитирования:** Гришин А.И. Влияние на характеристику линейного перистальтического насоса формы сечения и длины сжимаемых участков // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 9-17. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-9-17

**Cite as:** A.I. Grishin Influence of the cross-sectional shape and length of the compressible sections on the characteristics of a linear peristaltic pump. *Izvestiya MGTU «MA MI»*. 2021. No 2(48), pp. 9–17 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-9-17

***Разработка методики расчёта оптимального распределения электрической мощности между энергоблоками КЭС***

***Development of methodology for calculation of optimal distribution of electric power between power units of condensing power plant***

к.т.н. Ильичев В.Ю.,  
к.т.н. Юрик Е.А.

V.Y. Ilichev, PhD in Engineering  
E.A. Yurik, PhD in Engineering

*Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»  
patrol8@yandex.ru*

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University  
patrol8@yandex.ru*

Методы оптимизации используются при решении многих задач в области энергетики. Одной из таких задач является проблема оптимального перераспределения мощности между энергоблоками электростанции с целью достижения минимального расхода топлива. Это особенно важно для мощных конденсационных электростанций (КЭС), в которых даже относительно малая экономия топлива приводит к значительному экономическому эффекту.

Статья посвящена описанию разработанной методики такой оптимизации, основанной на применении современного метода дифференциальной эволюции, обладающего многими преимуществами перед «классическими» методами оптимизации. В частности, с его помощью можно найти именно глобальный, а не локальный экстремум целевой функции; также этот метод отличается простотой и широкими возможностями при использовании современных программных средств.

Очень удобно метод дифференциальной эволюции организован в библиотеке SciPy свободно распространяемого языка программирования Python, поэтому на этом языке разрабатывалась расчётная программа для решения поставленной задачи. В работе рассмотрены алгоритм и структура разработанной программы, а также порядок подготовки исходных данных и процесс вычислений на примере конкретной конденсационной электростанции. Упомянуты модули, используемые в программе для заполнения массивов данных, а также для вывода результатов в виде качественных графиков.

С помощью программы построена диаграмма оптимального перераспределения мощностей между энергоблоками для любой суммарной мощности рассматриваемой электростанции. Также для всего диапазона мощностей электростанции вычислен расход условного топлива и экономия топлива при реализации оптимального перераспределения мощностей по сравнению с равномерным распределением.

Полученный программный продукт, доступный всем желающим на сайте авторов статьи, позволяет не только изучать практическое применение метода дифференциальной эволюции, но также создавать на его основе программы для решения прочих задач оптимизации, некоторые из которых упомянуты в статье.

***Ключевые слова:*** оптимизация, перераспределение мощности, эволюционные методы, мощность турбин, метод дифференциальной эволюции, язык Python.

Optimization methods are used to solve many problems in the field of energy. One of such tasks is the problem of optimal redistribution of power between power units in order to achieve minimum fuel consumption. This is especially important for powerful condensation power plants, where even relatively small fuel savings have significant economic effect.

The article is devoted to description of developed method of such optimization, based on the application of differential evolution, which has many advantages over the “classical” methods of optimization. In particular, it was the global rather than the local extremum of the objective function that could be found. This method is also easy and powerful when using modern software tools.

Differential evolution method is organized in the library SciPy of Python programming language, so calculation program was developed in this language to solve the problem. The work considers algorithm and structure of the developed program, as well as the procedure for preparing initial data and calculation process using example of a specific condensing power plant. Modules used in the program to populate the data arrays, as well as to output the results in the form of high-quality graphs are mentioned.

With the help of the program, diagram of the optimal redistribution of capacities between power units for any total capacity of the power station is constructed. Also, for entire power range of the power plant, nominal fuel consumption and fuel economy are calculated when implementing the optimal redistribution of capacity in comparison with an even distribution.

Obtained software product, available to everyone on the website of the authors, allows not only to study the practical application of differential evolution method, but also to create programs based on it in order to solve other optimization problems, some of which are mentioned in the article.

**Keywords:** *optimization, power redistribution, evolutionary methods, turbine power, differential evolution method, Python language.*

**Для цитирования:** Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Разработка методики расчёта оптимального распределения электрической мощности между энергоблоками КЭС // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 18-25. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-18-25

**Cite as:** V.Y. Ilchev, E.A. Yurik Development of methodology for calculation of optimal distribution of electric power between power units of condensing power plant. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 2(48), pp. 18–25 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-18-25

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-26-35

### **Исследование комбинированного привода автопоезда**

#### **Study of the combined drive of the road train**

к.ф.-м.н. Зуев С.М.<sup>1</sup>,  
к.т.н. Малеев Р.А.<sup>1</sup>,  
Шматков Ю.М.<sup>1</sup>,  
Широков П.С.<sup>1</sup>,  
к.т.н. Яхутль Д.Р.<sup>2</sup>

S.M. Zuyev<sup>1</sup>, PhD in Physics and Mathematics  
R.A. Maleyev<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
YU.M. Shmatkov<sup>1</sup>,  
P.S. Shirokov<sup>1</sup>,  
D.R. Yakhutl<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

<sup>1</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>ФГУП НИИАЭ, Москва, Россия  
eope@mospolytech.ru

<sup>2</sup>Research and Experimental Institute of Automotive Electronics and Electrical Equipment, Moscow, Russia  
eope@mospolytech.ru

В данной статье описывается назначение, области применения, основные параметры большегрузных автопоездов для перевозки грузов специального и общехозяйственного назначения. Рассмотрены большегрузные автопоезда с ведущими колесами прицепных звеньев. Показаны преимущества применения большегрузных автопоездов по сравнению с одиночными грузовыми автомобилями.

Рассмотрены дополнительные источники энергии к штатному двигателю (дизельный или газотурбинный двигатель для привода трехфазного генератора), предназначенные для преодоления крутых подъемов и труднопроходимых участков дороги. Проведен анализ поворота автопоезда. Показаны преимущества кольцевой схемы и параллельной с индивидуальным управлением. Произведен анализ сил тяги по колесам и разброс потерь при повороте автопоезда в многодвигательном приводе. Представлены тяго-динамические свойства автопоездов,

которые характеризуют предельные силовые и кинематические возможности автопоездов в различных режимах движения.

Выполнен поиск рационального распределения токов в зависимости от сил, действующих на колесах и потерь в шинах.

Проведено исследование поворота транспортного средства, вычислены значения токов, величина разброса токов и их влияние на КПД. Определены экономические характеристики автопоездов.

Разработана методика и алгоритмы расчета потерь и КПД. Представлен алгоритм расчета при равенстве токов. Проведены расчеты КПД на различных скоростях и радиусах поворота при движении автопоезда. Произведен анализ КПД при равенстве токов и мощностей при изменении скорости движения.

Предложены различные конструкторско-технологические мероприятия для повышения технических характеристик автопоезда.

**Ключевые слова:** автопоезд, теплоэлектрический привод, крупногабаритный тяжеловесный объект, модульный транспортер, грузовая платформа, система управления, маневренность, управляемость, контроллер, угол поворота опоры, рулевая программа, задающее воздействие, рассогласование.

This article describes purpose, areas of application and main parameters of heavy road trains for the transportation of special and general cargo. Heavy-duty road trains with drive wheels of trailed links are considered. The advantages of using heavy-duty road trains in comparison with single trucks are shown.

Additional energy sources for a standard engine (diesel or gas turbine engine for driving a three-phase generator), designed to overcome steep ascents and difficult road sections, are considered. The analysis of the turn of the road train is carried out. The advantages of ring and parallel circuit with individual control are shown. The analysis of the traction forces on the wheels and the spread of losses when turning the road train in a multi-engine drive are made. The traction and dynamic properties of road trains are presented. They characterize the limiting power and kinematic capabilities of road trains in various modes of movement.

A search for a rational distribution of currents depending on the forces acting on the wheels and losses in the tires was made.

The study of the turning of the vehicle was carried out. The values of currents, the magnitude of the spread of currents and their influence on the efficiency were calculated. The economic characteristics of road trains were determined.

A methodology and algorithms for calculating losses and efficiency were developed. An algorithm for calculating at equal currents is presented. Calculations of the efficiency at various speeds and turning radii when the road train is moving are carried out. The analysis of the efficiency at the equality of currents and powers when the speed of movement is changed was made.

Various design and technological measures are proposed to improve the technical characteristics of the road train.

**Keywords:** road train, thermoelectric drive, large-sized heavy object, modular conveyor, cargo platform, control system, maneuverability, controllability, controller, support swing angle, steering program, setting action, misalignment.

**Для цитирования:** Зуев С.М., Малеев Р.А., Шматков Ю.М., Широков П.С., Яхутль Д.Р. Исследование комбинированного привода автопоезда // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 26-35. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-26-35

**Cite as:** S.M. Zuyev, R.A. Maleyev, YU.M. Shmatkov, P.S. Shirokov, D.R. Yakhutl' Study of the combined drive of the road train. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2(48), pp. 26–35 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-26-35



**Имитационное моделирование системы контроля изоляции высоковольтной электросети транспортного средства с гибридной силовой установкой****Simulation of the insulation monitoring system of the high-voltage electrical network of a vehicle with a hybrid power plant**

Мальшев А.Н.<sup>1</sup>,  
Груненко Е.А.<sup>1</sup>,  
к.т.н. Дебелов В.В.<sup>1,2</sup>,  
Мизин М.Д.<sup>1</sup>,  
д.т.н. Козловский В.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, Москва, Россия,

<sup>2</sup>Московский политехнический университет,  
Москва, Россия,

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия

andrey.malyshev@nami.ru,

vladimir.debelov@nami.ru

A.N. Malyshev<sup>1</sup>,  
YE.A. Grunenkov<sup>1</sup>,  
V V. Debelov<sup>1, 2</sup>, PhD in Engineering  
M.D. Mizin<sup>1</sup>,  
V.N. Kozlovskiy<sup>3</sup>, DSc in Engineering

<sup>1</sup>State Research Center of the Russian  
Federation NAMI, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow,  
Russia

<sup>3</sup>Samara State Technical University (Samara  
Polytech), Samara, Russia

andrey.malyshev@nami.ru,

vladimir.debelov@nami.ru

В работе представлены результаты математического и имитационного моделирования, а также расчетно-экспериментальные зависимости, позволяющие оценить работу системы контроля сопротивления изоляции высоковольтной электросети гибридного автомобиля. В работе также приводятся схемы измерения сопротивления изоляции, математическая модель в среде MATLAB Simulink, особенности работы программно-аппаратного имитационного комплекса. Целью работы является получение наиболее достоверной математической и физической модели сопротивления изоляции, определение архитектуры батареи высокого напряжения с входящей в её состав системой IRM, выявление ключевых функций и характеристик системы IRM, апробация системы имитационного моделирования. Во введении обоснована важность системы IRM и приводятся ссылки на стандарты, регламентирующие требования к измерению и определению неисправности электросети. Представлена структурная схема системы управления батареей высокого напряжения, описан состав её основных элементов. Рассматриваются функции и ключевые характеристики системы IRM, приводятся типовые характеристики систем контроля изоляции. Наглядно рассмотрена принципиальная схема определения сопротивления изоляции проводников и электрической цепи. Представлена схема замещения дифференциального усилителя постоянного тока с однополярным питанием, который используется для усиления малых дифференциальных напряжений на шунте при изменении больших синфазных напряжений, входящего в состав измерительной цепи. Выполнено математическое и имитационное моделирование для оценки метода расчета сопротивления изоляции по известной схеме, которая используется при измерении по методу трех вольтметров. Рассмотрен режим проверки исправности системы контроля изоляции в котором выполняется несколько тестовых процедур содержащих имитационное моделирование неисправного и исправного состояния изоляции путем подключения и измерения тестового сопротивления. Получены результаты физического имитационного моделирования системы IRM и измерения сопротивления изоляции, напряжения между каждым из питающих проводов высокого напряжения и корпусом аккумуляторной батареи высокого напряжения, напряжение между проводами, напряжение аккумуляторной батареи, вычислено фактическое сопротивление изоляции. В выводах объясняется эффективность физического и имитационного моделирования, получение достоверной математической модели и низкая погрешность моделирования характеристики изоляции.

**Ключевые слова:** система электропитания, сопротивление изоляции, программ-

*но-аппаратный комплекс, гибридная силовая установка*

The paper presents the results of mathematical and simulation modeling, as well as calculated and experimental dependencies, which make it possible to evaluate the operation of the insulation resistance monitoring system of the high-voltage power grid of a hybrid vehicle. The work also provides circuits for measuring insulation resistance, a mathematical model in the MATLAB Simulink environment, and the peculiarities of the operation of the software and hardware simulation complex. The aim of the work is to obtain the most reliable mathematical and physical model of insulation resistance, to determine the architecture of a high voltage battery with the IRM system included in it, to identify the key functions and characteristics of the IRM system, to test the simulation system. The introduction justifies the importance of the IRM system and provides references to standards that govern the requirements for measuring and identifying utility faults. The block diagram of the high voltage battery control system is presented. The composition of its main elements is described. The functions and key characteristics of the IRM system are considered, typical characteristics of insulation monitoring systems are given. A schematic diagram of determining the insulation resistance of conductors and an electric circuit is clearly considered. An equivalent circuit of a differential DC amplifier with a unipolar power supply is presented, which is used to amplify small differential voltages on a shunt when changing large common-mode voltages, which is part of the measuring circuit. Mathematical and simulation modeling was carried out to evaluate the method for calculating the insulation resistance according to the well-known scheme, which is used when measuring using the three-voltmeter method. There was considered the mode of checking the the insulation control system, when several test procedures performed containing simulation of the fault and operating condition of the insulation by connecting and measuring the test resistance. The results of physical simulation of the IRM system and measurement of insulation resistance, voltage between each of the high voltage supply wires and the high voltage battery case, voltage between the wires, battery voltage were obtained. The actual insulation resistance was calculated. The conclusions explain the effectiveness of physical and simulation modeling, obtaining a reliable mathematical model and low error in modeling the insulation characteristics.

**Keywords:** *power supply system, insulation resistance, hardware and software complex, hybrid power plant.*

**Для цитирования:** Малышев А.Н., Груненков Е.А., Дебелов В.В., Мизин М.Д., Козловский В.Н. Имитационное моделирование системы контроля изоляции высоковольтной электросети транспортного средства с гибридной силовой установкой // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 36-50. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-36-50

**Cite as:** A.N. Malyshev, YE.A. Grunenkov, V.V. Debelov, M.D. Mizin, V.N. Kozlovskiy Simulation of the insulation monitoring system of the high-voltage electrical network of a vehicle with a hybrid power plant. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2(48), pp. 36–50 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-36-50

***Исследование составляющих сопротивления повороту гусеничной машины на плотном опорном основании***

***Investigation of the components of the cornering resistance of a tracked vehicle on a solid support base***

к.т.н. Падалкин Б.В.

B.V. Padalkin, PhD in Engineering

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

*Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia*

Целью исследования, выполненного в статье является повышение полноты и достоверности подходов к определению составляющих сопротивления повороту гусеничной машины, а также создание пригодной для практических расчетов методики их оценки.

В статье анализируются две составляющие момента сопротивления повороту гусеничной машины, которые можно выделить, если рассматривать взаимодействие гусеницы с опорным основанием через отдельные пятна контакта (активные участки гусениц, находящиеся под опорными катками). Первая составляющая возникает из-за линейного перемещения активных участков гусениц. Вторая вызвана вращательным движением пятна контакта относительно вертикальной оси.

В работе приведена математическая модель взаимодействия движителя и плотного опорного основания, позволяющая изучить зависимость составляющих момента сопротивления повороту от геометрических параметров ходовой части гусеничной машины. Сила горизонтальной реакции в данном случае представлена в виде зависимости от коэффициента буксования. Также обеспечена возможность реализации различных сцепных качеств движителя в продольном и поперечном направлении скольжения. Модель предполагает предварительное разбиение пятна контакта на конечное число элементарных площадок. Так как количество элементарных площадок оказывает влияние на результат, то в статье проведено исследование по определению минимального количества площадок для обеспечения приемлемой точности.

Был проведен анализ имеющихся в литературе выражений для определения указанной составляющей сопротивления повороту. Также предложены новые эмпирические зависимости, лучше согласующиеся с математической моделью. Исследование нескольких существующих гусеничных машин, отличающихся массой и размером опорной поверхности трака позволило сделать вывод о целесообразности учета момента сопротивления повороту пятна контакта для различных типов гусеничных машин.

***Ключевые слова:*** гусеничные машины, поворот, сопротивления повороту, активный участок гусеницы

The purpose of the study is to increase the completeness and reliability of approaches to determining the components of the cornering resistance a tracked vehicle, as well as to create a method for their assessment, which will be suitable for practical calculations.

The article analyzes two components of the moment of cornering resistance of the tracked vehicle, which can be distinguished if we consider the interaction of the caterpillar with the support base through separate contact spots (active sections of the tracks located under the road wheels). The first component arises from the linear movement of the active sections of the tracks. The second is caused by the rotational movement of the contact patch about the vertical axis.

The paper presents a mathematical model of the interaction of the propeller and a dense support base, which makes it possible to study the dependence of the components of the moment of cornering resistance on the geometric parameters of the undercarriage of a tracked vehicle. The horizontal reaction force in this case is presented as a function of the slip coefficient. The possibility of realizing various adhesion qualities of the propulsion unit in the longitudinal and transverse directions of

sliding is provided. The model assumes a preliminary division of the contact patch into a finite number of elementary areas. Since the number of elementary sites affects the result, the article conducted a study to determine the minimum number of sites to ensure acceptable accuracy.

An analysis of the expressions available in the literature was carried out to determine the specified component of the cornering resistance. The new empirical relationships that better agree with the mathematical model were proposed. The study of several existing tracked vehicles, differing in the mass and size of the track support surface, made it possible to conclude that it is advisable to take into account the moment of cornering resistance of the contact patch for various types of tracked vehicles.

**Keywords:** tracked vehicle, turn, cornering resistance, active track area

**Для цитирования:** Падалкин Б.В. Исследование составляющих сопротивления повороту гусеничной машины на плотном опорном основании // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 51-62. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-51-62

**Cite as:** B.V. Padalkin Investigation of the components of the cornering resistance of a tracked vehicle on a solid support base. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2(48), pp. 51–62 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-51-62

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-63-70

### **Выбор характеристик системы поддрессоривания быстроходного гусеничного робота**

#### **Selection of the characteristics of the suspension system of the high-speed tracked robot**

д.т.н. Сарач Е.Б.<sup>1</sup>,  
Ткачев Я.А.<sup>2</sup>,  
Крохин М.Э.<sup>1</sup>

YE.B. Sarach<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
YA.A. Tkachev<sup>2</sup>,  
M.E. Krokhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,  
<sup>2</sup>Филиал АО «ЦЭНКИ» – НИИ СК, Москва,  
Россия,  
check-26@yandex.ru

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia  
<sup>2</sup>Branch of the Center for operation of space  
ground-based infrastructure, Moscow, Russia  
check-26@yandex.ru

В настоящее время стремительно развивается область машиностроения, включающая создание роботизированных быстроходных машин. Проектирование систем поддрессоривания таких машин должно сопровождаться выполнением определенных требований, которые в настоящее время не сформулированы. Учитывая, что в корпусе быстроходного робота нет человека, применение требований к подвескам экипажных машин не является обоснованным.

С целью выработки рекомендаций по выбору характеристик систем поддрессоривания быстроходных гусеничных роботов определяются объекты исследования, масса которых в диапазоне от 1000 до 10000 кг. Для объектов массой менее 1000 кг система поддрессоривания не требуется. Объекты массой более 10000 кг будут создаваться на базе существующих серийных машин.

В основе проводимого исследования учитывается положение о том, что к рассматриваемому классу машин не предъявлено ограничений по диапазону собственных частот колебаний корпуса. Учитывая, что для быстроходных гусеничных роботов сохраняется одно из основных требований – обеспечение высокой средней скорости, предлагается увеличить жесткость подвески с целью исключения резонанса из диапазона возможных скоростей движения.

Используя принятые положения проводится исследование системы поддрессоривания по-

вышенной жесткости. Моделируется движение по трассам гармонического профиля в резонансном режиме и разбитой грунтовой дороге.

Результаты исследования показывают, что характеристики системы поддрессоривания, выбранные по предложенной методике, позволяют двигаться по трассе гармонического профиля в резонансном режиме без пробоев подвески. Скорость движения по трассе разбитая грунтовая дорога ограничена значением, превышение которого приводит к значительным колебаниям корпуса и росту нагрузки на элементы системы поддрессоривания. Отсутствие пробоев обуславливает снижение нагруженности подвески, что позволяет уменьшить массу ее элементов.

**Ключевые слова:** *безэкипажные машины, быстроходные гусеничные роботы, характеристики системы поддрессоривания*

Currently, the field of mechanical engineering is rapidly developing, including the creation of robotic high-speed vehicles. The design of suspension systems for such vehicles must be accompanied by the fulfillment of certain requirements, which are currently not formulated. Considering the thing that there is no person in the body of a high-speed robot, the application of the requirements for the suspensions of crew vehicles is not justified.

In order to develop recommendations on the choice of characteristics of suspension systems for high-speed tracked robots, the research objects, which mass is in the range from 1000 to 10000 kg are determined. No suspension system is required for objects weighing less than 1000 kg. Objects weighing more than 10,000 kg will be created on the basis of existing serial vehicles.

The study is based on the provision that the considered class of vehicles is not subject to restrictions on the range of natural frequencies of body vibrations. Considering that one of the main requirements remains for high-speed tracked robots - ensuring a high average speed, it is proposed to increase the suspension stiffness in order to exclude resonance from the range of possible travel speeds.

Using the accepted provisions, a study of the suspension system of increased stiffness is carried out. The movement along the tracks of a harmonic profile in resonance mode and a broken dirt road is simulated.

The results of the study show that the characteristics of the suspension system, selected according to the proposed method, make it possible to move along the line of the harmonic profile in the resonant mode without suspension breakdowns.

The speed of movement on a broken dirt road is limited to a value, which exceeding leads to significant vibrations of the body and an increase in the load on the elements of the suspension system. The absence of breakdowns leads to a decrease in the loading of the suspension, which makes it possible to reduce the mass of its elements.

**Keywords:** *unmanned vehicles, high-speed tracked robots, characteristics of the suspension system.*

**Для цитирования:** Сарач Е.Б., Ткачев Я.А., Крохин М.Э. Выбор характеристик системы поддрессоривания быстроходного гусеничного робота // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 63-70. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-63-70

**Cite as:** YE.B. Sarach, YA.A. Tkachev, M.E. Krokhin Selection of the characteristics of the suspension system of the high-speed tracked robot. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2(48), pp. 63-70 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-63-70

**Оптимизация переходных процессов следящего пневматического привода с учетом модели трения с эффектом Штрибека**

***Optimization of transient processes of the pneumatic servo drive taking into account the friction model with the Stribeck effect***

Киреева В.А.,  
д.т.н. Труханов К.А.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*  
*valyavalenti97@yandex.ru*

V.A. Kireyeva,  
K.A. Trukhanov, DSc in Engineering

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*  
*valyavalenti97@yandex.ru*

Целью работы является выбор оптимальных значений параметров цифрового ПИД-регулятора для устранения в системах автоколебаний, а также оптимизация вида переходных процессов следящего пневматического привода. Причиной исследования послужила проблема возникновения автоколебаний в пневматических системах при применении моделей трения наиболее приближенных к реальности. Научная новизна статьи состоит в создании компьютерной модели и применении методов оптимизации для улучшения качества переходных процессов пневматического следящего привода с учётом модели трения Штрибека.

Авторами статьи выполнена оптимизация переходных процессов следящего пневматического привода с учетом выбранной модели трения. В ходе работы, при помощи компьютерного моделирования, подобраны оптимальные параметры ПИД-регулятора, устранена неустойчивость системы. Для оптимизации работы системы был выбран метод градиентного спуска. Произведена оценка показателей качества переходных процессов до и после оптимизации. По результатам моделирования системы следящего пневматического привода можно сделать вывод о возможности применения метода градиентного спуска для определения параметров ПИД-регулятора.

Произведён переход от аналоговой (непрерывной) системы к цифровой (дискретной), для осуществления которого необходимо определить период дискретизации. В статье указаны основные методы определения периода дискретизации и приведены недостатки этих методов. Анализ результатов показывает, что методы, описанные в статье, следует применять лишь для первого приближения, а значение указанной величины должно выбираться из расчёта минимальной погрешности между аналоговой (непрерывной) и цифровой (дискретной) системой. Погрешность менее 1% позволяет осуществить выбор программируемого логического контроллера. Тема статьи является актуальной для научного исследования и включает предоставление практических рекомендаций по определению параметров цифрового ПИД-регулятора и подбору контроллера специалистам, кто занимается проектированием систем, в состав которых включен следящий пневматический привод.

***Ключевые слова:*** ПИД-регулятор, период дискретизации, качество переходного процесса, контроллер, оптимизация, привод пневматический следящий.

The aim of the work is to select the optimal values of the parameters of the digital PID controller to eliminate self-oscillations in systems, as well as to optimize the type of transient processes of the servo pneumatic drive. The reason for the study was the problem of the occurrence of self-oscillations in pneumatic systems when using friction models that are closest to reality. The scientific novelty of the article consists in the creation of a computer model and the application of optimization methods to improve the quality of transient processes of the pneumatic servo drive, taking into account the Stribeck friction model.

The authors of the article optimized the transient processes of the pneumatic servo drive taking into account the selected friction model. The optimal parameters of the PID controller were selected using computer simulation. And the instability of the system was eliminated as well. To optimize

the system performance, the gradient descent method was chosen. An assessment of the quality indicators of transient processes before and after optimization was made. Based on the simulation results of the pneumatic servo drive system, it can be concluded that the gradient descent method can be used to determine the parameters of the PID controller.

The transition from an analog (continuous) system to a digital (discrete) system has been made. It is necessary to determine the sampling period for its implementation. The article indicates the main methods for determining the sampling period and shows the disadvantages of these methods. Analysis of the results shows that the methods described in the article should be used only for the first approximation, and the value of the indicated quantity should be selected from the calculation of the minimum error between an analog (continuous) and digital (discrete) system. An error of less than 1% allows the selection of a programmable logic controller. The topic of the article is relevant for scientific research and includes the provision of practical recommendations for determining the parameters of a digital PID controller and selecting a controller for specialists who are involved in the design of systems that include a pneumatic servo drive.

**Keywords:** *PID controller, sampling period, transient quality, controller, optimization, pneumatic servo drive.*

**Для цитирования:** Киреева В.А., Труханов К.А. Оптимизация переходных процессов следящего пневматического привода с учетом модели трения с эффектом Штрибека // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 71-80. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-71-80

**Cite as:** V.A. Kireyeva, K.A. Trukhanov Optimization of transient processes of the pneumatic servo drive taking into account the friction model with the Stribeck effect. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 2(48), pp. 71-80 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-71-80

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-81-92

### ***Исследование систем поддрессоривания опытных танков СССР второй половины 20 века***

### ***Study of suspension systems for experimental tanks of the USSR in the second half of the 20th century***

к.т.н. Цицилев А.А.,  
д.т.н. Наказной О.А.

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

A.A. Tsipilev, PhD in Engineering  
O.A. Nakaznoy, DSc in Engineering

*Bauman Moscow State Technical University,*  
*Moscow, Russia*  
*alexts@bmstu.ru*

Современные пневмогидравлические системы поддрессоривания быстроходных гусеничных машин имеют достаточно типовые варианты кинематических схем, подразумевающие установку упруго-демпфирующего элемента непосредственно на поддрессоренном корпусе (внутри или снаружи). Такое решение конструктивно сравнительно простое, и подразумевается, что позволяет снизить величины неподрессоренных масс. Другие варианты, с размещением упругих и демпфирующих элементов внутри направляющих элементов (балансиров), не «прижились» ввиду большей конструктивной сложности как самого упругого или демпфирующего элемента, так и направляющего элемента подвески. Кроме конструктивной сложности реализации, такое решение увеличивает величины неподрессоренных масс и, самое главное, осложняет организацию системы охлаждения. Выступающие элементы ходовой части забиваются грунтом, снегом (грязью) при движении, который действует как теплоизолятор. Тем не менее, при современных технологических возможностях эти сложности могут быть в известной степени преодолены, полностью или частично.

Однако, несмотря на указанные выше недостатки, это решение имеет и важные преимущества: подвеска не занимает место в забронированном объеме, а полностью находится внутри гусеничного обвода, что позволяет использовать объем корпуса более эффективно, а, кроме того, обеспечить максимально удачную конструкцию днища для защиты от минного подрыва (в случае с тяжелым танком «Объект 279» это позволило также существенно повысить проходимость).

В настоящей статье представлен обзор советских опытных образцов тяжелых и ракетных танков, система поддрессоривания которых была реализована в направляющем элементе. В статье представлен также метод определения силовой и кинематической передаточных функций для этих вариантов подвесок, проведен анализ конструктивных реализаций и показано, что характеристики упругих элементов опытных машин удовлетворяют современным требованиям к подвескам быстроходных гусеничных машин.

**Ключевые слова:** *быстроходные гусеничные машины, гусеничные машины, опытный танк, подвеска, система поддрессоривания, кинематика, пневмогидравлическая рессора.*

Modern pneumohydraulic suspension systems for high-speed tracked vehicles have fairly typical versions of kinematic schemes, implying the installation of an elastic-damping element directly on the suspension housing (inside or outside). This solution is structurally relatively simple, and it is understood that it allows to reduce the values of unsprung masses. Other options, with placement of elastic and damping elements inside the guide elements (balancers), did not “take root” due to the greater structural complexity of both elastic or damping element and the suspension guide element. In addition to the structural complexity of implementation, such a solution increases the values of unsprung masses and, most importantly, complicates the organization of the cooling system. The protruding elements of the chassis are clogged with soil, snow (mud) when driving, which acts as a heat insulator. Nevertheless, with modern technological capabilities, these difficulties can be overcome to a certain extent, in whole or in part.

However, despite the above disadvantages, this solution also has important advantages: the suspension does not take up space in the reserved volume, but is completely inside the tracked bypass, which allows using the housing volume more efficiently, and, in addition, providing the most successful bottom design for protection from mine detonation (in the case of a heavy tank “Object 279”, this also made it possible to significantly increase the cross-country ability).

This article provides an overview of Soviet prototypes of heavy and rocket tanks, which suspension system was implemented in the guide element. The article also presents a method for determining the power and kinematic transfer functions for these suspension options, analyzes the design implementations and shows that the characteristics of the elastic elements of experimental vehicles meet modern requirements for the suspensions of high-speed tracked vehicles.

**Keywords:** *high-speed tracked vehicles, tracked vehicles, experimental tank, suspension, suspension system, kinematics, pneumohydraulic spring.*

**Для цитирования:** Ципилев А.А., Наказной О.А. Исследование систем поддрессоривания опытных танков СССР второй половины 20 века // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 81-92. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-81-92

**Cite as:** Z.A. Godzhayev, T.Z. Godzhayev, M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, A.I. Iskaliyev Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration protection of a tractor operator. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 2(48), pp. 81-92 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-81-92



**Алгоритм работы антиблокировочной системы для двухосных автомобилей с одной ведущей осью с адаптивным перераспределением тормозных усилий****Algorithm of anti-lock braking system for two-axle vehicles with one driving axle with adaptive redistribution of braking forces**

д.т.н. Жилейкин М.М.,  
Чугунов Д.С.

ФГБОУ ВО «Московский государственный  
технический университет им. Н.Э.  
Баумана», Москва, Россия  
jileykin\_m@mail.ru, dan0634@mail.ru

M.M. Zhileykin, DSc in Engineering  
D.S. Chugunov

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia  
jileykin\_m@mail.ru, dan0634@mail.ru

Главным предназначением систем активной безопасности автомобиля является предотвращение аварийной ситуации. При возникновении такой ситуации система самостоятельно (без участия водителя) оценивает вероятную опасность и при необходимости предотвращает ее путем активного вмешательства в процесс управления автомобилем

Одним из способов повышения активной безопасности автомобилей при торможении является использование антиблокировочных систем (АБС). Основными проблемами в обеспечении работы АБС, построенных на разных принципах управления и с разными параметрами управления, являются невозможность прямого определения скорости автомобиля и, как следствие, коэффициента буксования, а также невозможность эффективно реагировать на изменяемые дорожные условия в процессе торможения. Например, при торможении на скользкой опорной поверхности и попытке объехать находящееся впереди препятствие существует опасность потери сцепления колес с дорогой и возникновения заноса. Разработанные в настоящее время алгоритмы работы АБС не обеспечивают предотвращение возникновения и развития заноса в указанных выше условиях.

Целью работы является повышение устойчивости и управляемости двухосных автомобилей с одной ведущей осью при торможении за счёт адаптивного перераспределения тормозных усилий на колёсах. Предложен алгоритм работы антиблокировочной системы с адаптивным перераспределением тормозных усилий на колёсах автомобиля. Благодаря данному алгоритму, при торможении на скользкой опорной поверхности двухосного автомобиля с одной ведущей осью обеспечивается не только отсутствие блокировки колёс, но и противодействие заносу. Методами имитационного моделирования доказаны работоспособность и эффективность предложенного алгоритма при торможении двухосного автомобиля с одной ведущей осью на скользкой опорной поверхности.

**Ключевые слова:** антиблокировочная система автомобиля; устойчивость и управляемость автомобиля; противодействие заносу.

The main purpose of active vehicle safety systems is to prevent an emergency situation. If such a situation arises, the system independently (without the participation of the driver) assesses the probable danger and, if necessary, prevents it by actively intervening in the driving process.

One of the ways to increase the active safety of vehicles when braking is the use of anti-lock braking systems (ABS). The main problems in ensuring the operation of the ABS, built on different control principles and with different control parameters, are the impossibility of directly determining the vehicle speed and, as a result, the slip coefficient, as well as the inability to effectively respond to changing road conditions during braking. For example, when braking on a slippery supporting surface and trying to avoid an obstacle in front, there is a risk of losing traction and skidding. The algorithms of the ABS operation developed at present do not ensure the prevention of the occurrence and development of skidding under the conditions indicated above.

The aim of the work is to increase the stability and controllability of two-axle vehicles with one driving axle during braking due to the adaptive redistribution of braking forces on the wheels. An

algorithm for the operation of an anti-lock braking system with adaptive redistribution of braking forces on the wheels of a vehicle is proposed. Thanks to this algorithm, when braking on a slippery surface of a two-axle vehicle with one driving axle, the absence of wheel blocking and also skid resistance are ensured. The efficiency and effectiveness of the proposed algorithm when braking a two-axle vehicle with one driving axle on a slippery supporting surface were proved by the methods of simulation.

**Keywords:** *anti-lock braking system of a vehicle; stability and controllability of the vehicle; skid resistance.*

**Для цитирования:** Жилейкин М.М., Чугунов Д.С. Алгоритм работы антиблокировочной системы для двухосных автомобилей с одной ведущей осью с адаптивным перераспределением тормозных усилий // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 93-100. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-93-100

**Cite as:** M.M. Zhileykin, D.S. Chugunov Algorithm of anti-lock braking system for two-axle vehicles with one driving axle with adaptive redistribution of braking forces. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 2(48), pp. 93-100 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-93-100

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-101-112

### ***К вопросу повышения эффективности систем нейтрализации оксидов азота в дизельных ДВС***

#### ***The issue of improving the efficiency of nitrogen oxide neutralization systems in diesel internal combustion engines***

к.т.н. Шабанов А.В.<sup>1</sup>,  
Кондратьев Д.В.<sup>1</sup>,  
Ванин В.К.<sup>1</sup>,  
к.т.н. Дунин А.Ю.<sup>2</sup>

A.V. Shabanov<sup>1</sup>, PhD in Engineering  
D.V. Kondratiev<sup>1</sup>,  
V.K. Vanin<sup>1</sup>,  
A.Yu. Dunin<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup>ФГУП «НАМИ», Москва, Россия,

<sup>1</sup>State Research Center of the Russian

<sup>2</sup>Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ), Москва, Россия  
Saaha-1955@mail.ru

Federation NAMI,  
<sup>2</sup>Moscow Automobile and Road State Technical  
University (MADI),  
Saaha-1955@mail.ru

Самым эффективным методом снижения оксидов азота в ОГ дизелей является селективная очистка методом SCR-NH<sub>3</sub>. Метод использует аммиак, выделяемый в процессе термоллиза и гидролиза раствора мочевины при ее впрыскивании через форсунку в нейтрализатор. Этот метод имеет сравнительно невысокую эффективность очистки ОГ от оксидов азота. Основным фактором, препятствующим достижению высокой эффективности системы нейтрализации NO<sub>x</sub> является недостаточно высокая температура при реализации данного процесса.

В статье выполнен анализ различных способов поднятия эффективности процесса нейтрализации и предлагается новый метод нейтрализации NO<sub>x</sub> за счет применения впрыска мочевины в цилиндры ДВС на такте расширения в дизельном ДВС. Эффективность может быть достигнута за счет более высокой температуры ОГ в цилиндре ДВС и увеличения времени процесса термоллиза и гидролиза мочевины.

Рассмотрена кинетика разложения оксидов азота, процесс окисления NH<sub>3</sub> и расчет температурных условий в цилиндре дизельного ДВС на такте выпуска ОГ. Проанализирован опыт нейтрализации NO<sub>x</sub>, содержащихся в дымовых газах тепловых станций, где очистка от NO<sub>x</sub> протекает при высоких температурах без использования катализатора.

Показано, что модернизация процесса SCR-NH<sub>3</sub>, за счет впрыска мочевины на такте выпуска ОГ в дизельном ДВС, позволит упростить существующий метод нейтрализации NOx и получить при этом дополнительные преимущества для современного высокофорсированного двигателя.

**Ключевые слова:** *отработавшие газы дизелей, выбросы NOx, эффективность метода SCR-NH<sub>3</sub>, впрыск мочевины.*

The most effective method of reducing nitrogen oxides in diesel exhaust gas is selective purification by the SCR-NH<sub>3</sub> method. The method uses ammonia released during thermolysis and hydrolysis of a urea solution when it is injected through a nozzle into a neutralizer. This method has a relatively low efficiency of cleaning the exhaust gas from nitrogen oxides. The main factor hindering the achievement of high efficiency of the NOx neutralization system is the insufficiently high temperature during the implementation of this process.

The article analyzes various ways to increase the efficiency of the neutralization process and proposes a new method for neutralizing NOx by using urea injection into the cylinders of the internal combustion engine at the expansion stroke in a diesel internal combustion engine. Efficiency can be achieved due to a higher exhaust gas temperature in the cylinder of the internal combustion engine and an increase in the time of the process of thermolysis and hydrolysis of urea.

The kinetics of the decomposition of nitrogen oxides, the process of NH<sub>3</sub> oxidation, and the calculation of temperature conditions in the cylinder of a diesel internal combustion engine at the exhaust cycle are considered. The experience of neutralization of NOx contained in the flue gases of thermal power plants, where NOx purification takes place at high temperatures without the use of a catalyst, is analyzed.

It is shown that the modernization of the SCR-NH<sub>3</sub> process, due to the injection of urea at the exhaust stroke in a diesel internal combustion engine, will simplify the existing method of NOx neutralization and at the same time obtain additional advantages for a modern high-speed engine.

**Keywords:** *diesel exhaust gases, NOx emissions, efficiency of the SCR-NH<sub>3</sub> method, urea injection.*

**Для цитирования:** Шабанов А.В., Кондратьев Д.В., Ванин В.К., Дунин А.Ю. К вопросу повышения эффективности систем нейтрализации оксидов азота в дизельных ДВС // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 2(48). С. 101-112. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-101-112

**Cite as:** A.V. Shabanov, D.V. Kondratiev, V.K. Vanin, A.Yu. Dunin The issue of improving the efficiency of nitrogen oxide neutralization systems in diesel internal combustion engines. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2021. No 2(48), pp. 101-112 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-101-112