

# ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»

Izvestiya MGTU «MAMI»



**НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ**



**4 (50)  
2021**

Известия МГТУ «МАМИ»

№ 4 (50) 2021



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

**Адрес университета:**

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

тел./факс: (495) 223-05-28

www.mospolytech.ru • publication@mami.ru

Известия МГТУ «МАМИ» № 4 (50) 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 22.11.21. Формат 60x90/8  
Усл.п.л. 13,0. Тираж 500 экз. Заказ № 99  
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  
Сайт: www.mospolytech/izdat

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

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

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

## Учредитель

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет»  
Общество с ограниченной ответственностью «Эко-Вектор»

## Издатель

Общество с ограниченной ответственностью «Эко-Вектор»

Журнал зарегистрирован 5 октября 2021 г.  
Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых  
коммуникация и охране культурного наследия.

**Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-81899.**

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Лепёшкин А.В.** – профессор, к.т.н., профессор кафедры Московского политехнического университета,  
доцент кафедры МГТУ им. Н.Э. Баумана, ответственный редактор журнала «Тракторы и сельхозмашины» (Москва, Россия)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Бахмутов С.В.** – профессор, д.т.н., заместитель генерального директора по научной работе ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» (Москва, Россия)

**Беляков В.В.** – заслуженный работник высшей школы РФ, профессор, д.т.н., начальник УНИР Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

**Горелов В.А.** – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

**Городецкий К.И.** – заслуженный машиностроитель РФ, профессор, д.т.н., профессор Московского политехнического университета  
(Москва, Россия)

**Иванов А.М.** – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой Московского автомобильно-дорожного государственного технического  
университета (МАДИ) (Москва, Россия)

**Каминский В.Н.** – профессор, д.т.н., профессор Московского политехнического университета, заслуженный работник промышленности  
Московской области, председатель совета директоров НПО «Турботехника», председатель научно-технического совета города  
(наукограда) Протвино, член Экспертного совета ветеранов (старейшин) отрасли поршневого двигателестроения России, главный  
редактор журнала «Тракторы и сельхозмашины» (Москва, Россия)

**Котиев Г.О.** – заслуженный деятель науки РФ, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

**Ляшенко М.В.** – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой ВолгГТУ (Волгоград, Россия)

**Марченко А.П.** – профессор, д.т.н., профессор кафедры, 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)

**Натришвили Т.М.** – профессор, д.т.н., директор Института механики машин им. Р. Двали (ИММ), академик Национальной академии наук  
Грузии, лауреат Национальной премии Грузии в области науки (Тбилиси, Грузия)

**Позин Б.М.** – заслуженный машиностроитель РФ, профессор, д.т.н., профессор кафедры Южно-Уральского государственного  
университета, академик Российской академии транспорта (Челябинск, Россия)

**Предигер В.** – профессор, д.т.н., профессор Университета прикладных наук (Оснабрюк, Германия)

**Скворцов А.А.** – профессор, д.ф.-м.н., проректор по исследованиям и разработкам Московского политехнического университета  
(Москва, Россия)

**Фомин В.М.** – профессор, д.т.н., профессор кафедры Московского политехнического университета (Москва, Россия)

**Фукс К.** – д.т.н., менеджер проекта по системам больших двигателей международной инженеринговой компании  
AVL List (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List – «Институт двигателей внутреннего сгорания „Лист“») (Грац, Австрия)

**Ютт В.Е.** – заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой Московского автомобильно-дорожного  
государственного технического университета (МАДИ), академик Академии электротехнических наук РФ (Москва, Россия)

## ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Подписка на журнал  
«ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»  
проводится в Издательстве Московского Политеха  
Тел.: (495) 276-33-67. E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru  
Подписной индекс Роспечати – 81936

### Уважаемые читатели!

Журнал «Известия МГТУ «МАМИ» входит в Перечень ВАК РФ ведущих  
рецензируемых научных журналов и изданий, в которых публикуются основные  
научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора  
или кандидата наук.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).  
На сайте НЭБ <http://elibrary.ru> размещены материалы всех опубликованных  
в журнале научных статей с 2007 года.

С января 2019 года всем статьям, опубликованным в журнале,  
присваивается номер DOI, по которому полнотекстовые  
содержания этих статей доступны в интернете.

# ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»

ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

VEHICLES AND POWER PLANTS

№ 4 (50) 2021

Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-0530

## В номере

2	<b>Бузиков Ш.В., Плотников С.А.</b> Обоснование методов определения эффективности применения альтернативных топлив в автотракторных дизелях	<b>Buzikov Sh.V., Plotnikov S.A.</b> Substantiation of methods for determination of the effectiveness of the use of alternative fuels in automotive diesel engines
9	<b>Гришин А.И., Лепешкин А.В.</b> Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия	<b>Grishin A.I., Lepeshkin A.V.</b> Study of existing designs of the peristaltic principle pumps
18	<b>Жарковский А.А., Щур В.А., Омран М., Стасеев А.А.</b> Автоматизация проектирования рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины	<b>Zharkovskiy A.A., Shchur V.A., Omran M., Staseyev A.A.</b> Automation of the design of the impeller of a radial-axial hydraulic turbine
27	<b>Кагдин В.Н., Малеев Р.А., Зимин А.Н., Зуев С.М., Якутль Д.Р.</b> Стартер-генераторные установки современных автомобилей	<b>Kagdin V.N., Maleyev R.A., Zimin A.N., Zuyev S.M., Yakhutl' D.R.</b> Starter-generator sets of modern vehicles
33	<b>Кулагин В.А.</b> Разработка комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля для анализа усталостной долговечности	<b>Kulagin V.A.</b> Development of a complex of mathematical models of a vehicle suspension for fatigue life analysis
43	<b>Селезнев В.Н.</b> Численное моделирование кавитации в проточной части обратимой гидромашин на напор до 250 м	<b>Seleznev V.N.</b> Numerical simulation of cavitation in the flow path of a reversible hydraulic machine for a head up to 250 m
49	<b>Сенькевич С.Е.</b> Результаты проведения экспериментальных исследований сельскохозяйственного трактора с упруго-демпфирующим механизмом в силовой передаче	<b>Sen'kevich S.E.</b> Results of experimental studies of an agricultural tractor with an elastic-damping mechanism in a power train
60	<b>Ципилев А.А., Наказной О.А.</b> Аналитическое определение статических и динамических упругих характеристик пневмогидравлических систем поддрессоривания	<b>Tsipilev A.A., Nakaznoy O.A.</b> Analytical determination of static and dynamic elastic characteristics of pneumohydraulic suspension systems
73	<b>Чичекин И.В., Шуранова А.А.</b> Исследование работы дифференциала с внутренним трением в системе расчета динамики твердых тел	<b>Chichekin I.V., Shuranova A.A.</b> Modeling the work of the automotive differential with internal friction in the system for calculating the multi body dynamics
83	<b>Шабанов А.В., Ванин В.К., Есаков А.Е.</b> Энергосберегающие технологии и энергоэффективность автотранспортных энергоустановок	<b>Shabanov A.V., Vanin V.K., Yesakov A.E.</b> Energy saving technologies and energy efficiency of motor transport power plants

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

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

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-2-8

*Обоснование методов определения эффективности применения  
альтернативных топлив в автотракторных дизелях*

*Substantiation of methods for determination of the effectiveness of the use of alternative  
fuels in automotive diesel engines*

к.т.н. Бузиков Ш.В.,  
д.т.н. Плотников С.А.

*Вятский государственный университет,  
Киров, Россия  
shamilvb@mail.ru*

Sh.V. Buzikov, PhD in Engineering  
S.A. Plotnikov, DSc in Engineering

*Vyatka State University, Kirov, Russia  
shamilvb@mail.ru*

Предметом исследования является определение параметров рабочего цикла тракторного дизеля при его работе на смешанном топливе, состоящем из дизельного топлива и рапсового масла. Основная цель настоящей работы состоит в определении эффективности применения альтернативных топлив в автотракторных дизелях. Для определения зависимостей параметров рабочего цикла проведены теоретические и экспериментальные исследования тракторного дизеля на следующих составах смешанного топлива, с содержанием рапсового масла 20%, 55% и 80%, а также чистом дизельном топливе. В результате проведенных исследований получены: номограмма для определения величины снижения отношения индикаторного КПД к коэффициенту избытка воздуха, зависимости отношения индикаторного КПД к коэффициенту избытка воздуха от коэффициента избытка воздуха на разных составах смешанного топлива, частотах вращения коленчатого вала дизеля, нагрузки при 1800 мин<sup>-1</sup> и 1400 мин<sup>-1</sup>. Экспериментально установлено, что увеличение доли рапсового масла в смешанном топливе с 0 до 80%, частоты вращения с 1400 до 2000 мин<sup>-1</sup> и коэффициента избытка воздуха с 1,18...1,22 до 4,32...5,61 приводило к снижению индикаторного КПД с 0,46 до 0,35, а отношение снижалось с 0,30 до 0,08, увеличение нагрузки от 0,2 до 1,2 МПа, при 1800 мин<sup>-1</sup>, и 1400 мин<sup>-1</sup>, а коэффициента избытка воздуха от 1,17...1,68 до 3,53...3,60 приводило к снижению индикаторного КПД с 0,44...0,40 до 0,28...0,22, а отношение с 0,34...0,25 до 0,10...0,09, соответственно. Теоретически рассчитано снижение отношения на 4,5% при работе дизеля на смешанном топливе, с содержанием 80% рапсового масла по сравнению с чистым дизельным топливом и экспериментально подтверждено это снижение на 4,1%. Сходимость расчетного значения величины снижения отношения с экспериментальными данными составила 91,11%. В связи с этим, известное утверждение о равенстве ввода теплоты с топливом требует уточнения.

*Ключевые слова: рапсовое масло, смешанное топливо, рабочий цикл, показатели рабочего цикла*

The subject of the research is to determine the parameters of the operating cycle of a tractor diesel engine when it is running on a mixed fuel, consisting of diesel fuel and rapeseed oil. The main goal of this work is to determine the efficiency of using alternative fuels in automotive diesel en-

gines. In order to determine the dependences of the parameters of the operating cycle, the theoretical and experimental studies of a tractor diesel engine were carried out on the following compositions of mixed fuel: with a rapeseed oil content of 20%, 55% and 80%, as well as pure diesel fuel. As a result of the research, the following was obtained: a nomogram for determining the value of the decrease in the ratio of the indicator efficiency to the excess air ratio, the dependence of the ratio of the indicator efficiency to the excess air ratio on the excess air ratio for different compositions of mixed fuel, diesel engine crankshaft rotational speed, load at 1800 min<sup>-1</sup> and 1400 min<sup>-1</sup>. It was experimentally established that an increase in the proportion of rapeseed oil in mixed fuel from 0 to 80%, the speed from 1400 to 2000 min<sup>-1</sup> and the excess air ratio from 1.18 ... 1.22 to 4.32 ... 5.61 led to a decrease in the indicator efficiency from 0.46 to 0.35, and the ratio decreased from 0.30 to 0.08, an increase in the load from 0.2 to 1.2 MPa, at 1800 min<sup>-1</sup>, and 1400 min<sup>-1</sup>, and the excess air ratio from 1.17 ... 1.68 to 3.53 ... 3.60 led to a decrease in the indicator efficiency from 0.44 ... 0.40 to 0.28 ... 0.22, and the ratio from 0.34 ... 0.25 to 0, 10... 0.09, respectively. A 4.5% reduction in the ratio is theoretically calculated when the diesel engine runs on a mixed fuel containing 80% rapeseed oil as compared to pure diesel fuel, and this reduction by 4.1% has been experimentally confirmed. The convergence of the calculated value of the decrease in the ratio with the experimental data was 91.11%. In this regard, the well-known statement about the equality of the input of heat with fuel requires clarification.

**Keywords:** rapeseed oil, mixed fuel, duty cycle, duty cycle indicators.

**Для цитирования:** Бузиков Ш.В., Плотников С.А. Обоснование методов определения эффективности применения альтернативных топлив в автотракторных дизелях // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 2-8. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-2-8

**Cite as:** SH.V. Buzikov, S.A. Plotnikov Substantiation of methods for determination of the effectiveness of the use of alternative fuels in automotive diesel engines. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 2-8 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-2-8

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-9-17

### **Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия**

#### **Study of existing designs of the peristaltic principle pumps**

Гришин А.И.,  
к.т.н. Лепешкин А.В.

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

A.I. Grishin,  
A.V. Lepeshkin, PhD in Engineering

*Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*  
*foxmccloud@rambler.ru*

Перистальтические насосы получили широкое распространение в самых разнообразных областях благодаря их герметичности, простоты обслуживания и точности подачи. Тем не менее, применение перистальтических насосов ограничено их недостатками: малым сроком службы рабочего органа и неравномерности подачи. В настоящей работе проведен обзор существующих конструктивных решений насосов. Рассмотрены основные преимущества и недостатки наиболее распространенных современных конструкций перистальтических насосов. Приведены разработанные конструктивные решения, предназначенные для продления срока службы упругого рабочего органа насоса. К таким решениям относится конструкция со спиральным расположением шланга, где повышение срока службы шланга достигается благодаря уменьшению количества его циклических сжатий за счет использования всего одного ро-

лика. Другим решением является эксплуатация насоса с неполным сжатием рабочего органа, что уменьшает величины напряжений и тем самым продлевает срок службы рабочего органа. Для компенсации уменьшения подачи, вызванного эксплуатацией насоса с неполным сжатием рабочего органа, разработаны особые формы выступов в области сжатия. В работе представлен обзор решений, позволяющих снизить неравномерность подачи перистальтического насоса. Простейшим из них является применение нескольких параллельных каналов. В других разработках устранение пульсаций подачи достигается при помощи пневматического демпфера. Существует также конструктивное решение, в котором для равномерной подачи применяется специальный алгоритм срабатывания пяти выжимных элементов, каждый из которых сжимает только свой участок рабочего органа насоса. На основе проведенного анализа показано, что для устранения недостатков перистальтических насосов используют различные методы, которые, тем не менее, нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

**Ключевые слова:** *перистальтический насос, пульсации подачи, надежность гидромашин.*

Peristaltic pumps are used in a wide variety of applications due to their tightness, ease of maintenance and accurate delivery. Nevertheless, the use of peristaltic pumps is limited by their disadvantages: short service life of the working body and uneven feed. This work provides an overview of the existing design solutions for pumps. The main advantages and disadvantages of the most common modern designs of peristaltic pumps are considered. The developed design solutions are presented. These solutions are designed to extend the service life of the elastic working body of the pump. These include a spiral hose design, where hose life is improved by reducing the number of cyclic compressions using just one roller. Another solution is to operate the pump with incomplete compression of the working element, which reduces the stress values and thereby prolongs the service life of the working element. The special shapes of protrusions in the compression area were developed in order to compensate the decrease in flow caused by the operation of the pump with incomplete compression of the working member. The paper provides an overview of solutions to reduce the uneven flow of a peristaltic pump. The simplest of these is the use of multiple parallel channels. In other designs, the elimination of flow pulsations is achieved with a pneumatic damper. There is also a constructive solution, in which a special algorithm of actuation of five squeeze elements is used for uniform supply, each of which compresses only its own section of the pump working body. Based on the analysis, it is shown that in order to eliminate the disadvantages of peristaltic pumps the various methods are used. Nevertheless, those methods need further improvement.

**Keywords:** *peristaltic pump, feed pulsations, reliability of hydraulic machines.*

**Для цитирования:** Гришин А.И., Лепешкин А.В. Исследование существующих конструкций насосов перистальтического принципа действия // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 9-17. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-9-17

**Cite as:** A.I. Grishin, A.V. Lepeshkin Study of existing designs of the peristaltic principle pumps. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 9-17 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-9-17

**Автоматизация проектирования рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины*****Automation of the design of the impeller of a radial-axial hydraulic turbine***

д.т.н. Жарковский А.А.,  
к.т.н. Щур В.А.,  
Омран М.,  
Стасеев А.А.

A.A. Zharkovskiy, DSc in Engineering  
V.A. Shchur, PhD in Engineering  
M. Omran,  
A.A. Staseyev

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*  
*tshur\_va@spbstu.tu*

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia*  
*tshur\_va@spbstu.tu*

В статье приведено описание подходов к проектированию лопастной системы радиально-осевых гидротурбин на основе разработанной в СПбПУ автоматизированной системы проектирования на языке программирования Python. В указанную систему на настоящий момент включены следующие модули: выбор основных параметров гидротурбины, построение меридиональной проекции рабочего колеса, расчёт потенциального потока и построение лопастной системы радиально-осевой гидротурбины. Выбор основных параметров гидротурбины основан на общепринятой в гидротурбостроении методике, которая оцифрована и внедрена в программный комплекс. В работе рассмотрены и проанализированы разные подходы к проектированию меридиональных обводов проточной части в области рабочего колеса радиально осевой гидротурбины, приведено сравнение результатов их построения по различным методикам. По результатам анализа выбрана методика, наиболее подходящая к алгоритмизации в программном комплексе. Построение линий тока и расчёт скоростей вдоль них представлено на основе расчёта потенциального потока в меридиональном сечении. Проектирование лопастной системы гидротурбины выполнено по методу решения прямой осесимметричной задачи теории гидромашин. В качестве примера спроектирована лопастная система радиально-осевой гидротурбины на напор до 75 метров, начальные параметры которой соответствуют гидротурбинам–аналогам схожей быстроходности. Спроектированная гидротурбина была рассчитана в Ansys, а результаты подтвердили её отличные энергетические качества. Планируется дальнейшее развитие программного комплекса в части автоматического построения 3-х мерных твердотельных моделей проточной части, которая в дальнейшем может быть рассчитана методами вычислительной гидродинамики и оптимизирована для получения гидротурбин с параметрами, соответствующими современному уровню.

**Ключевые слова:** *автоматизация проектирования, радиально-осевые гидротурбины, выбор основных параметров, python*

The article describes approaches to the design of a vane system of radial-axial hydraulic turbines based on an automated design system developed at SPbPU using the Python programming language. The specified system currently includes the following modules: selection of the main parameters of the hydraulic turbine, construction of the meridional projection of the impeller, calculation of the potential flow and construction of the blade system of the radial-axial hydraulic turbine. The choice of the main parameters of the hydraulic turbine is based on the technique generally accepted in hydraulic turbine engineering, which has been digitized and introduced into the software package. The paper considers and analyzes different approaches to the design of the meridional bypasses of the flow path in the area of the impeller of a radial-axial hydraulic turbine, a comparison of the results of their construction using different methods is given. A technique that is most suitable for algorithmization in the software package based on the results of the analysis was selected. The construction of streamlines and the calculation of velocities along them are presented on the basis of the calculation of the potential flow in the meridian section. The design of the blade system of the hy-

draulic turbine was carried out by the method of solving the direct axisymmetric problem of the theory of hydraulic machines. As an example, a blade system of a radial-axial hydraulic turbine was designed for a head up to 75 meters, the initial parameters of which correspond to hydraulic turbines-analogues of similar speed. The designed hydro turbine was calculated in Ansys, and the results confirmed its excellent energy properties. It is planned to further develop the software package in terms of automatic construction of 3-dimensional solid models of the flow path, which can later be calculated by the methods of computational fluid dynamics and optimized to obtain hydraulic turbines with parameters corresponding to the current state of the art.

**Keywords:** *design automation, radial-axial hydraulic turbines, selection of basic parameters, Python*

**Для цитирования:** Жарковский А.А., Щур В.А., Омран М., Стасеев А.А. Автоматизация проектирования рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 18-26. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-18-26

**Cite as:** A.A. Zharkovskiy, V.A. Shchur, M. Omran, A.A. Staseyev Automation of the design of the impeller of a radial-axial hydraulic turbine. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 4(50), pp. 18-26 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-18-26

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-27-32

### **Стартер-генераторные установки современных автомобилей**

#### ***Starter-generator sets of modern vehicles***

Кагдин В.Н.,  
к.т.н. Малеев Р.А.,  
Зимин А.Н.,  
к.ф.-м.н. Зуев С.М.,  
к.т.н. Яхутль Д.Р.

*Московский политехнический университет,  
Москва, Россия,  
eope@mospolytech.ru*

V.N. Kagdin,  
R.A. Maleyev, PhD in Engineering  
A.N. Zimin,  
S.M. Zuyev, PhD in Physics and Mathematics  
D.R. Yakhutl', PhD in Engineering

*Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia  
eope@mospolytech.ru*

В данной статье описывается назначение и области применения стартер-генераторной установки. Рассмотрены режимы работы стартер-генераторной установки как в качестве электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения, осуществляющего вращение вала двигателя внутреннего сгорания, так и в качестве генератора, когда электрическая машина работает как источник постоянного тока независимого возбуждения, обеспечивающего питание электрических цепей управления, электродвигателей вспомогательного электрооборудования, освещения и заряда аккумуляторной батареи. Исследованы дополнительные функции стартер-генераторной установки в виде системы «старт-стоп», рекуперативного торможения, бустерного разгона автомобиля, гашения крутильных моментов вала двигателя внутреннего сгорания и управления потоками энергии в бортовой сети.

Проведен выбор и обоснование оптимальной схемы, а также конструкции стартер-генераторного устройства. Определены основные технико-экономические параметры стартер-генераторной установки. Была представлена конструкция стартер-генераторной установки, представляющая собой обратимую электрическую машину. Разработана блок-схема стартер-генераторной установки.

Рассмотрены электрические машины, применяемые для стартер-генераторных установок. Описаны конструкции асинхронной машины с короткозамкнутым ротором, синхронной машины с электромагнитным возбуждением, вентильной машины с постоянными магнитами, бесконтактной машины, синхронной машины с постоянными магнитами, вентильной индук-



торной машиной с самовозбуждением. Проведён обзор и анализ электрических машин, применяемых в стартер-генераторных установках ведущих зарубежных фирм.

Рассмотрена конструкция обратимой индукционно-динамической машины, в которой ротор вращается снаружи, а не внутри двигателя и представляет собой короткозамкнутую обмотку с литой алюминиевой клеткой. Проведен расчет основных параметров обратимой индукционно-динамической машины как в стартерном, так и в генераторном режимах. Расчет проведен по методике аналогичной, как и у асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** стартер-генераторная установка, рекуперация, электрическая машина, двигатель внутреннего сгорания, индукционно-динамическая машина.

This article describes the purpose and applications of the starter generator set. The modes of operation of a starter-generator set are considered both as a sequential excitation direct current electric motor, which rotates the shaft of an internal combustion engine, and as a generator, when an electric machine operates as a direct current source of independent excitation, supplying power to electric control circuits, electric motors of auxiliary electrical equipment, lighting and battery charging. Additional functions of a starter-generator set in the form of a start-stop system, regenerative braking, booster acceleration of a vehicle, damping of torsional moments of the shaft of an internal combustion engine and control of energy flows in the on-board network were studied.

The choice and substantiation of the optimal scheme, as well as the design of the starter-generator device, were carried out. The main technical and economic parameters of the starter-generator set were determined. The design of a starter-generator set was presented. This design is a reversible electric machine. A block diagram of a starter-generator set was developed.

Electrical machines used for starter-generator sets are considered. The design of an asynchronous machine with a squirrel-cage rotor, a synchronous machine with electromagnetic excitation, a valve machine with permanent magnets, a contactless machine, a synchronous machine with permanent magnets, and a valve machine with self-excitation are described. A review and analysis of electrical machines used in starter-generator sets of leading foreign companies is carried out.

The design of a reversible induction-dynamic machine is considered. The rotor rotates outside, and not inside the motor and is a short-circuited winding with a cast aluminum cage. The calculation of the main parameters of a reversible induction-dynamic machine was carried out both in the starting and in the generator modes. The calculation using a method similar to that of an induction motor was carried out.

**Keywords:** starter-generator set, recuperation, electric machine, internal combustion engine, induction-dynamic machine.

**Для цитирования:** Кагдин В.Н., Малеев Р.А., Зимин А.Н., Зуев С.М., Яхутль Д.Р. Стартер-генераторные установки современных автомобилей // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 27-32. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-27-32

**Cite as:** V.N. Kagdin, R.A. Maleyev, A.N. Zimin, S.M. Zuyev, D.R. Yakhutl' Starter-generator sets of modern vehicles. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 27-32 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-27-32

***Разработка комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля для анализа усталостной долговечности***

***Development of a complex of mathematical models of a vehicle suspension for fatigue life analysis***

Кулагин В.А.

V.A. Kulagin

*ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия*

*viktor.kulagin@nami.ru*

*Central research and development automobile*

*and engine institute NAMI*

*viktor.kulagin@nami.ru*

Сокращение длительности разработки новых автомобилей и связанное с этим стремление снижения издержек автопроизводителей способствуют более активному применению математического моделирования для решения инженерных задач. Такие задачи, как анализ и прогнозирование усталостной долговечности узлов и агрегатов автомобиля, могут быть решены с использованием комплекса методов и инструментов математического моделирования.

В данной статье рассматривается разработка комплекса математических моделей передней и задней подвесок легкового автомобиля, обладающих свойствами, необходимыми для точного воспроизведения колёсных нагрузок и динамического поведения подвески как механической системы. Комплекс математических моделей реализован в среде многозвенного моделирования. Модели разработаны для проведения последующего валидационного исследования нагруженности отдельных компонентов подвески в ходе форсированных ресурсных испытаний. В дальнейшем данный комплекс математических моделей может быть использован для имитационного моделирования полунатурных форсированных ресурсных испытаний модуля подвески, а также в качестве образца для разработки моделей подвесок других автомобилей.

Целью данной работы является формирование требований к математическим моделям, достаточных для реализации исследований усталостной долговечности методами математического моделирования и получения достоверных результатов расчётов. Инженеры-исследователи смогут руководствоваться данными требованиями для определения и сбора исходных данных для разработки собственных математических моделей.

***Ключевые слова:*** *многозвенное моделирование, долговечность, усталость, форсированные испытания, подвеска, направляющий аппарат, метод Крейга-Бэмптона, модель Пфедфера*

The reduction in the duration of the development of new vehicles and the associated desire to reduce the costs of automotive plants contribute to a more active application of mathematical modeling to solve engineering problems. The tasks, which are analyzing and predicting the fatigue life of vehicle components and assemblies, can be solved using a set of methods and tools of mathematical modeling.

This article discusses the development of a complex of mathematical models of the front and rear suspensions of a passenger automobile, which have the properties necessary for accurate reproduction of wheel loads and dynamic behavior of the suspension as a mechanical system. The complex of mathematical models is implemented in a multi-link modeling environment. The models are designed to carry out a subsequent validation study of the loading of individual suspension components during forced service life tests. In the future, this complex of mathematical models can be used for simulation of semi-natural forced resource tests of the suspension module, as well as a sample for the development of suspension models of other automobiles.

The purpose of this work is to form sufficient requirements for mathematical models for the implementation of fatigue durability studies using mathematical modeling methods and obtaining reliable calculation results. Research engineers will be able to follow these requirements to determine and collect initial data for the development of their own mathematical models.

**Keywords:** *multi-link modeling, durability, fatigue, forced testing, suspension, guiding device, Craig-Bampton method, Pfeffer model.*

**Для цитирования:** Кулагин В.А. Разработка комплекса математических моделей подвески легкового автомобиля для анализа усталостной долговечности // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 33-42. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-33-42

**Cite as:** V.A. Kulagin Development of a complex of mathematical models of a vehicle suspension for fatigue life analysis. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 4(50), pp. 33-42 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-33-42

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-43-48

### **Численное моделирование кавитации в проточной части обратимой гидромашины на напор до 250м**

#### ***Numerical simulation of cavitation in the flow path of a reversible hydraulic machine for a head up to 250m***

Селезнев В.Н.

V.N. Seleznev

*АО «Силовые машины», Санкт-Петербург,  
Россия*

*JSC Power Machines, Saint Petersburg, Russia  
Seleznev\_VN@power-m.ru*

*Seleznev\_VN@power-m.ru*

В областях, где расположены в основном расположены тепловые и атомные электростанции, проблема нехватки маневренных мощностей, покрытия пиковых нагрузок и прохождения периодов сниженного энергопотребления решается за счет строительства крупных гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). Для создания высокоэффективных проточных частей насос – турбин одной из современных тенденций является использование численного моделирования трехмерного течения жидкости. В настоящее время существует множество программных продуктов, в которых реализовано численное моделирование методом конечных объемов. Самые известные среди них Fluent, CFX, StarCD, Numeca, Flow Vision и CADRUN. Верификация расчетной модели остается актуальной задачей. Важно подобрать методику, которая позволит получить приемлемый результат при оптимальных временных затратах на подготовку данных и проведение расчетных исследований.

В статье исследуется проточная часть радиально-осевой насос-турбины, предназначенная для применения на максимальный напор до 250м. Выполнено численное моделирование процесса кавитации возникающего в турбинном режиме при существенном удалении от оптимума характеристики. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса Ansys CFX версии 2021R1. Дано краткое описание постановки задачи, используемых расчетных сеток и принятых допущений. Представлено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными. Выполнено качественное сравнение областей возникновения кавитации полученного при численном моделировании с данными контроля состояния основного металла и сварных соединений рабочего колеса гидроагрегата методом цветной дефектоскопии.

Целью работы было представить «экономичную» методику численного моделирования кавитации для определения мест возможного возникновения кавитационного износа. Методика заключается в описании постановки задачи, используемых расчетных сеток и принятых допущений для оптимально использования вычислительных ресурсов без существенной потери точности результатов.

**Ключевые слова:** *кавитация, радиально-осевая насос-турбина, обратимый гидроагрегат, Ansys CFX, численное моделирование.*

In areas where thermal and nuclear power plants are mainly located, the problem of lack of ma-

neuverable capacities, the coverage of peak loads and the passage of periods of reduced energy consumption is solved through the construction of large pumped storage power plants (PSPP). To create highly efficient flow paths for pump-turbines, one of the modern trends is the use of numerical modeling of three-dimensional fluid flow. Nowadays, there are many software products that implement numerical modeling by the finite volume method. The most famous among them are Fluent, CFX, StarCD, Numeca, Flow Vision and CADRUN. Verification of the computational model remains an urgent task. It is important to choose a methodology that will allow you to get an acceptable result with optimal time spent on preparing data and conducting computational studies.

The article examines the flow path of a radial-axial pump-turbine designed for use at a maximum head up to 250m. Numerical modeling of the cavitation process arising in the turbine mode at a significant distance from the optimum of the characteristic was carried out. The calculations were performed using the Ansys CFX software package, version 2021R1. A brief description of the problem statement, the computational grids used and the assumptions made is given. Comparison of calculation results with experimental data is presented. A qualitative comparison of the cavitation origination regions obtained by numerical simulation with the data of monitoring the state of the base metal and welded joints of the hydroelectric unit impeller by the method of non-destructive testing is carried out.

The aim of the work was to present an “economical” technique for numerical simulation of cavitation to determine the places of possible occurrence of cavitation wear. The technique consists in describing the formulation of the problem, the computational grids used and the assumptions made for the optimal use of computing resources without a significant loss in the accuracy of the results.

**Keywords:** *cavitation, radial-axial pump-turbine, reversible hydraulic unit, Ansys CFX, numerical simulation.*

**Для цитирования:** Селезнев В.Н. Численное моделирование кавитации в проточной части обратимой гидромашины на напор до 250 м // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 43-48. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-43-48

**Cite as:** V.N. Seleznev Numerical simulation of cavitation in the flow path of a reversible hydraulic machine for a head up to 250m. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 43-48 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-43-48

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-49-59

***Результаты проведения экспериментальных исследований  
сельскохозяйственного трактора с упруго-демпфирующим механизмом в  
силовой передаче***

***Results of experimental studies of an agricultural tractor with an elastic-damping  
mechanism in a power train***

Сенькевич С.Е.

S.E. Sen'kevich

*Федеральный научный агроинженерный  
центр ВИМ, Москва, Россия  
sergej\_senkevich@mail.ru*

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
Moscow, Russia  
sergej\_senkevich@mail.ru*

Повышение эксплуатационной эффективности сельскохозяйственных тракторов является одним из основных факторов, который способствует увеличению производительности при существенном уменьшении энергозатрат. Важное значение имеют разработки, которые связаны с совершенствованием конструкции силовых передач колёсных сельскохозяйственных тракторов, для которых неперенным условием является повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве. Достижение требуемых характеристик сельскохозяйственных тракторов определяются свойствами силовой передачи и взаимодействием

связанных с ней систем. Одним из главных качеств силовой передачи должна быть способность поглощать крутильные колебания и демпфировать нагрузку.

В статье представлены исследования конструктивного улучшения силовой передачи сельскохозяйственного трактора путем установки в неё разработанного упруго-демпфирующего механизма на примере трактора малого класса тяги. Учитывая актуальность обсуждаемой темы в статье решена задача определения влияния упруго-демпфирующего механизма, установленного в силовую передачу трактора, на его работу с культиватором.

В работе был проведен анализ взаимной корреляционной функции и анализ взаимной спектральной плотности двух процессов: угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя и угловая скорость вращения ведущего колеса, который показал изменение скорости распространения проходящих частот колебаний нагрузки по валопроводу и смещение частоты возмущающих воздействий.

**Ключевые слова:** упруго-демпфирующий механизм, силовая передача трактора, взаимная корреляционная функция, взаимная спектральная плотность.

Improving the operational efficiency of agricultural tractors is one of the main factors that helps to increase productivity while significantly reducing energy costs. The developments that are associated with improving the design of power transmissions for wheeled agricultural tractors are very important, because its indispensable condition is to increase labor productivity in agricultural production. Achievement of the required characteristics of agricultural tractors is determined by the properties of the power train and the interaction of associated systems. One of the main qualities of a power train should be the ability to absorb torsional vibrations and damp the load.

The article presents studies of the constructive improvement of the power transmission of an agricultural tractor by installing a developed elastic-damping mechanism using the example of a tractor of a small traction class. Considering the relevance of the topic, the article solved the problem of determining the influence of the elastic-damping mechanism installed in the power transmission of the tractor on its operation with the cultivator.

The paper analyzed the cross-correlation function and the mutual spectral density of two processes: the angular speed of rotation of the crankshaft of the engine and the angular speed of rotation of the drive wheel, which showed a change in the speed of propagation of passing frequencies of load oscillations along the shafting and displacement of the frequency of disturbing influences.

**Keywords:** elastic damping mechanism, tractor power transmission, cross correlation function, cross spectral density.

**Для цитирования:** Сенькевич С.Е. Результаты проведения экспериментальных исследований сельскохозяйственного трактора с упруго-демпфирующим механизмом в силовой передаче // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 49-59. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-49-59

**Cite as:** S.E. Sen'kevich Results of experimental studies of an agricultural tractor with an elastic-damping mechanism in a power train. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 4(50), pp. 49-59 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-49-59

**Аналитическое определение статических и динамических упругих характеристик пневмогидравлических систем подпрессоривания****Analytical determination of static and dynamic elastic characteristics of pneumohydraulic suspension systems**

к.т.н. Ципилев 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

При разработке новых подвесок гусеничных и колесных машин, а также при так называемом реверс-инжиниринге уже существующих конструкций (в том числе, в образовательном процессе подготовки профильных кадров), необходимо решить задачу по нахождению упругой характеристики подвески. В первом случае необходимо обеспечить выполнение заданных тактико-технических требований, во втором – восстановить вид характеристики по известной конструкции. Обе этих задачи сильно затрудняются при отсутствии точных и универсальных аналитических зависимостей, пригодных для определения характеристик упругих элементов подвески различных конструктивных реализаций. Опыт взаимодействия с некоторыми заводами показывает, что конструкторы, не имея возможности качественно рассчитывать упругие характеристики, пользуются методом подбора и аналогий, когда для новой машины используют подвеску как на старой, масштабируя ее по размерам, чтобы приблизительно сохранить значения рабочих давлений. Для этого проводят многочисленные стендовые испытания, по результатам которых выбирают требуемые зарядные объем и давление. Особую сложность вызывают подвески с противодавлением, так как не только итоговая характеристика, но и работоспособность всего узла зависит от комбинации объемов и давлений двух камер, которые работают в противофазе: когда одна нагружается, другая разгружается, и наоборот. Использование аналитических зависимостей позволит сократить время, затрачиваемое на проектирование; параметризовать в определенной мере кинематику подвески, получить значения эквивалентной жесткости подвески, а также иметь возможность разработки характеристик модельного ряда пневмогидравлических рессор для машин различной весовой категории.

В настоящей статье представлена методика аналитического определения характеристик пневмогидравлических рессор различных конструкций. Среди вариантов исполнения как реально используемые в современной и исторической технике (в частности, на БМД-1, 2, 3, 4; ГМ-352; Урал «Тайфун»; Объект 775 и др.), так и полученные путем комбинации различных конструктивных элементов, реализация которых может быть полезной в образовательном процессе при подготовке профильных кадров. Представленные в статье зависимости позволяют получить статические и динамические упругие характеристики при различных показателях политропы и пригодны при проектировании подвесок колесных и гусеничных машин разного назначения.

**Ключевые слова:** гусеничные машины, колесные машины, подвеска, пневмогидравлическая рессора, система подпрессоривания.

When developing new suspensions for tracked and wheeled vehicles, as well as in the so-called reverse engineering of existing structures (including in the educational process of training personnel), it is necessary to solve the problem of finding the elastic characteristics of the suspension. In the first case, it is necessary to ensure the fulfillment of the specified tactical and technical requirements, in the second - to restore the form of characteristics according to a known design. Both of these tasks are greatly complicated in the absence of precise and universal analytical dependencies suitable for determining the characteristics of elastic suspension elements of various design imple-

mentations. The experience of interaction with some factories shows that designers, not being able to qualitatively calculate the elastic characteristics, use the method of selection and analogy, when for a new vehicle they use the suspension as on the old one, scaling it in size in order to approximately keep the values of working pressures. The numerous bench tests are carried out, which results are used for selecting required charging volume and pressure. Suspensions with backpressure cause particular difficulty, since not only the final characteristic, but also the performance of the entire unit depends on the combination of volumes and pressures of the two chambers, which work in antiphase: when one is loaded, the other is unloaded, and vice versa. Using analytical dependencies will reduce the time spent on design, to parameterize, to a certain extent, the suspension kinematics, to obtain the values of the equivalent suspension stiffness, and also to be able to develop the characteristics of the model range of pneumohydraulic springs for vehicles of various weight categories.

This article presents a technique for the analytical determination of the characteristics of pneumohydraulic springs of various designs. The options include both actually used in modern and historical technology (in particular, on BMD-1, 2, 3, 4; GM-352; Ural Typhoon; Object 775, etc.), and obtained by combining various structural elements, which implementation can be useful in the educational process in training personnel. The dependences presented in the article make it possible to obtain static and dynamic elastic characteristics at various polytropic indices and are suitable for the design of suspensions for wheeled and tracked vehicles for various purposes.

**Keywords:** *tracked vehicles, wheeled vehicles, suspension, air-hydraulic spring, suspension system.*

**Для цитирования:** Ципилев А.А., Наказной О.А. Аналитическое определение статических и динамических упругих характеристик пневмогидравлических систем подвески // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 60-72. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-60-72

**Cite as:** A.A. Tsipilev, O.A. Nakaznoy Analytical determination of static and dynamic elastic characteristics of pneumohydraulic suspension systems. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 4(50), pp. 60-72 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-60-72

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-73-82

### ***Исследование работы дифференциала с внутренним трением в системе расчета динамики твердых тел***

#### ***Modeling the work of the automotive differential with internal friction in the system for calculating the multi body dynamics***

к.т.н. Чичекин И.В.,  
Шуранова А.А.

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*  
*chichekin\_iv@bmstu.ru*  
*arina1999\_arina@mail.ru*

I.V. Chichekin, PhD in Engineering  
A.A. Shuranova

*Bauman Moscow State Technical University,*  
*Moscow, Russia*  
*chichekin\_iv@bmstu.ru,*  
*arina1999\_arina@mail.ru*

Работа посвящена моделированию и анализу работы автомобильного дифференциала повешенного трения в системе расчета динамики связанных тел. Модель разработана в приложении по расчету динамики твердых и деформируемых тел - RecurDyn от компании FunctionBay.

Целью работы является разработка математической модели дифференциала с фрикционными шайбами и подтверждение адекватности ее работы. Разработанная математическая модель дифференциала проверена на возможность ее последующего использования при моде-

лировании трансмиссии автомобиля в системе расчета динамики связанных тел. В работе создана и подробно описана математическая модель дифференциала, с помощью которой проведен анализ кинематики и динамики. Показаны способы моделирования простого симметричного дифференциала и самоблокируемого с использованием одной разработанной математической модели. Приведены известные аналитические зависимости, описывающие кинематические и силовые законы соотношения угловых скоростей и крутящих моментов между выходными звеньями и корпусом дифференциала. Выбрана и описан способ расчета и моделирования момента трения в дифференциале. Представлено используемое авторами в работе уравнение, описывающее момент трения в дифференциале.

Разработан и описан виртуальный стенд, с помощью которого осуществлялось моделирование работы дифференциала. Выбраны нагрузочные режимы, эквивалентные различным условиям движения реального автомобиля, приведены их количественные параметры. В работе выбраны критерии оценки работоспособности математической модели дифференциала. Приведены результаты моделирования для всех нагрузочных режимов, по ним доказана адекватность разработанной математической модели дифференциала с фрикционными шайбами. Выполнены предложения о дальнейшем использовании разработанной модели дифференциала.

**Ключевые слова:** самоблокирующийся дифференциал, математическая модель, динамика связанных тел, Recurdyn.

The work is devoted to the operation of an automobile differential of suspended friction modeling in the system for calculating the dynamics of coupled bodies. The model was developed in the Recurdyn application for calculating the dynamics of rigid and deformable bodies from the FunctionBay company.

The aim of the work is to develop a mathematical model of the differential with friction washers and to confirm the adequacy of its operation. The developed mathematical model of the differential is tested for the possibility of its subsequent use in modeling the transmission of a vehicle in the calculating the dynamics of coupled bodies system. In this work, a model of the differential has been created and described in detail. The model was used for the analysis of kinematics and dynamics. Methods of modeling a simple symmetric differential and a self-locking one are shown based on one mathematical model. The well-known analytical dependences describing the kinematic and force laws of the ratio of angular velocities and torques between the output links and the differential housing are given. A method for calculating and modeling the friction torque in the differential was selected and described. An equation describing the frictional moment in the differential is presented.

A virtual test bench was developed and described. Afterwards it was used for differential operation simulation. Load modes that are equivalent to various driving conditions of a real automobile are selected, their quantitative parameters are given. In this work, the criteria for evaluating the performance of the differential model are selected. The results of modeling for all load modes are given. According to those results the adequacy of the developed mathematical model of the differential with friction washers is proved. The proposals on the use of the developed model are given.

**Keywords:** self-locking differential, mathematical model, dynamics of coupled bodies, Recurdyn.

**Для цитирования:** Чичекин И.В., Шуранова А.А. Исследование работы дифференциала с внутренним трением в системе расчета динамики твердых тел // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 73-82. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-73-82

**Cite as:** I.V. Chichekin, A.A. Shuranova Modeling the work of the automotive differential with internal friction in the system for calculating the multi body dynamics. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 73-82 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-73-82



**Энергосберегающие технологии и энергоэффективность автотранспортных энергоустановок*****Energy saving technologies and energy efficiency of motor transport power plants***к.т.н. Шабанов А.В.<sup>1</sup>,Ванин В.К.<sup>2</sup>,к.т.н. Есаков А.Е.<sup>3</sup><sup>1</sup>НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия,<sup>2</sup>ФГУП «НАМИ», Москва, Россия,<sup>3</sup>Московский политехнический университет, Москва, Россия, saaha-1955@mail.ruA.V. Shabanov<sup>1</sup>, PhD in EngineeringV.K. Vanin<sup>2</sup>,A.E. Yesakov<sup>3</sup>, PhD in Engineering<sup>1</sup>Research Center for Testing and Adjustment of Automotive Equipment of the Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia<sup>2</sup>Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia<sup>3</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

saaha-1955@mail.ru

Рассмотрены перспективные альтернативные углеводородам источники энергии, используемые в настоящее время в мире. Анализируются энергосберегающие технологии использования углеводородного топлива на автотранспорте.

Отмечается необходимость развивать применение электропривода на автомобилях, а также планомерно накапливать и анализировать существующий опыт эксплуатации автомобилей с электроприводом за рубежом и в Российской Федерации. Мониторинг разрабатываемых за рубежом технологий и проблем, возникающих при эксплуатации автомобилей с электроприводом, позволит определить приоритетные пути их развития и сконцентрировать усилия исследователей в направлении, обеспечивающем максимальную эффективность их применения.

Одним из привлекательных и экономически выгодных в настоящее время для отечественной практики путей развития автомобильного транспорта является применение автомобилей с гибридными силовыми установками. Показано, что производство гибридных автомобилей и электромобилей за рубежом успешно развивается и является в настоящее время одним из самых динамичных в мире.

Приведены показатели эффективности расхода электроэнергии автомобилей с электроприводом различных автомобилестроительных фирм. Выполнен сравнительный анализ технологий применения автомобилей с электроприводом для улучшения экологической ситуации в мегаполисах и рассмотрены проблемы повышения эффективности автомобильных энергоустановок.

Показано, что климатические условия Российской Федерации с длительными периодами низких температур атмосферного воздуха сильно влияют на потери энергии, связанные с обогревом салона, и в значительной степени – на энергоэффективность силовой установки электромобилей.

Для оценки эффективности использования автомобилей с электроприводом предложено использовать универсальный показатель эффективности расхода энергии. Сравнительную оценку энергетических затрат различных автомобилей предложено проводить по энергетическому параметру qEL.

Приведённые расчётные данные показывают, что использование автомобилей с электроприводом и, в частности, подзаряжаемых гибридов более выгодно по сравнению с использованием автомобилей, оборудованных исключительно ДВС.

**Ключевые слова:** автомобиль, электромобиль, водородомобиль, гибрид, экологичность, топливная экономичность, характеристики эффективности, энергоэф-

*фективность, CO<sub>2</sub>, комбинированные силовые установки.*

The perspective energy sources alternative to hydrocarbons, which are currently used in the world, are considered. Energy-saving technologies for the use of hydrocarbon fuel in vehicles are analyzed.

The need to develop the use of electric drives on automobiles is noted. The importance of systematical accumulation and analyzing of the existing experience of operating vehicles with electric drives abroad and in the Russian Federation is considered. Monitoring the technologies developed abroad and the problems arising during the operation of electric vehicles will make it possible to determine the priority ways of their development and to concentrate the efforts of researchers in the direction ensuring the maximum efficiency of their application.

One of the currently attractive and economically viable ways of developing road transport for domestic practice is the use of vehicles with hybrid power plants. It is shown that the production of hybrid vehicles and electric vehicles abroad is successfully developing and is nowadays one of the most dynamic in the world.

Indicators of efficiency of electric power consumption of vehicles with electric drive of various automobile manufacturers are given. A comparative analysis of technologies for the use of electric automobiles to improve the environmental situation in megalopolises is carried out and the problems of increasing the efficiency of automobile power plants are considered.

It is shown that the climatic conditions of the Russian Federation with long periods of low temperatures of atmospheric air strongly affect the energy losses associated with heating the passenger compartment, and to a large extent - on the energy efficiency of the power plant of electric vehicles.

To assess the efficiency of using electric vehicles, it is proposed to use a universal indicator of the efficiency of energy consumption. It is proposed to carry out a comparative assessment of the energy consumption of various vehicles by the energy parameter qEL.

The calculated data show that the use of vehicles with electric drive and, in particular, rechargeable hybrids is more profitable in comparison with the use of vehicles equipped exclusively with internal combustion engines.

**Keywords:** *vehicle, electric vehicle, hydrogen vehicle, hybrid, environmental friendliness, fuel efficiency, efficiency characteristics, energy efficiency, CO<sub>2</sub>, hybrid power plants.*

**Для цитирования:** Шабанов А.В., Ванин В.К., Есаков А.Е. Энергосберегающие технологии и энергоэффективность автотранспортных энергоустановок // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 4(50). С. 83-91. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-83-91

**Cite as:** A.V. Shabanov, V.K. Vanin, A.E. Yesakov Energy saving technologies and energy efficiency of motor transport power plants. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2021. No 4(50), pp. 83-91 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-50-4-83-91