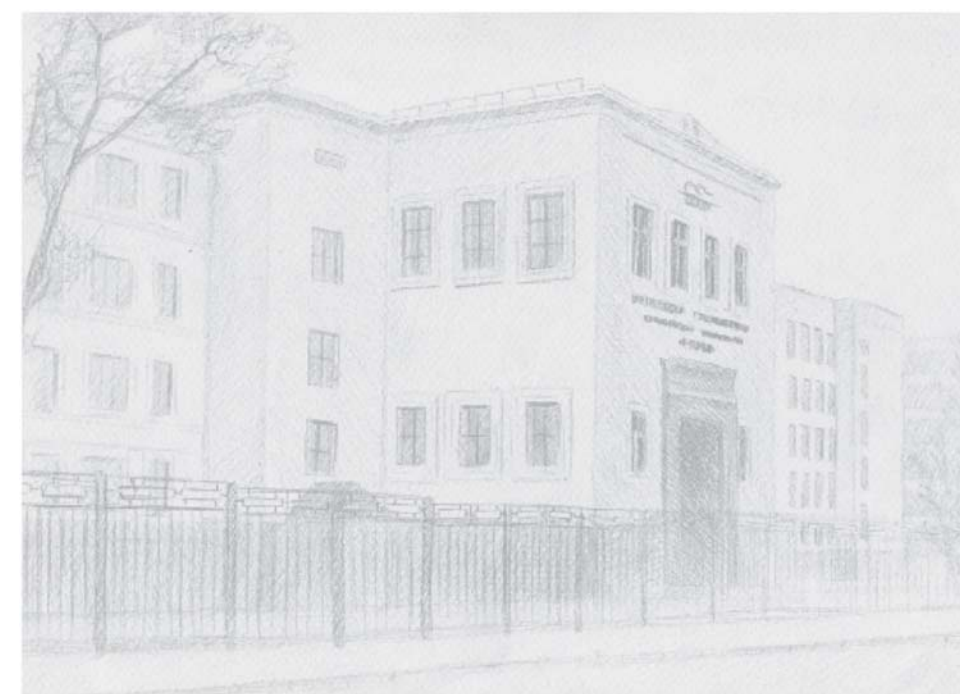


ISSN 2074-0530
DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3

ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»



НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

**3 (49)
2021**

Известия МГТУ «МАМИ»

№ 3 (49) 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» № 3 (48) 2021 г.
Научное и техническое редактирование: к.т.н., проф. А.В. Лепешкин
Корректурa: 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



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

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

№ 3 (49) 2021

Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-0530

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3

В номере

2	Шклярский Я.Э., Скамын А.Н., Васильков О.С. Экспериментальные исследования влияния гибридного инвертора на качество электроэнергии	Shklyarskiy YA.E., Skam'in A.N., Vasil'kov O.S. Experimental studies of the effect of a hybrid inverter on power quality
10	Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Управление рисками	Popov V.A., Yelantsev V.V. Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Management of risks
23	Жилейкин М.М., Журкин М.М. Метод расчета технических характеристик и параметров движения масштабных моделей колесных машин, обеспечивающий подобие протекающих процессов при испытаниях	Zhileykin M.M., Zhurkin M.M. Method for calculating technical characteristics and parameters of movement of scale models of wheeled vehicles, ensuring the similarity of the processes during testing
31	Лю И, Зузов В.Н. Исследование влияния размеров конечных элементов на точность моделирования клеевого соединения в автомобильных конструкциях	Liu Yi, Zuzov V.N. Study of the effect of finite element dimensions on the simulation accuracy of adhesive bonding in automotive structures
42	Тупицын И.И., Зубрицкий С.Г., Красавин П.А. Оценка повреждения ТС с точки зрения сложной технической системы с собственной структурой	Tupitsyn I.I., Zubris'kiy S.G., Krasavin P.A. Assessment of vehicle damage from the point of a complex technical system with its own structure
49	Зуев С.М., Малеев Р.А., Шматов Ю.М., Ханджалов М.Ю., Яхутль Д.Р. Исследование молекулярных накопителей энергии	Zuyev S.M., Maleyev R.A., Shmatkov YU.M., Khandzhalov M.YU., Yakhutl' D.R. Research on molecular energy storage
57	Чаплыгин А.В., Куликов И.А. Идентификация параметров курсового движения автомобиля с использованием сигма-точечного фильтра Калмана	Chaplygin A.V., Kulikov I.A. Identification of vehicle directional parameters using the sigma-point Kalman filters
70	Плотников С.А., Сергеев Д.Г., Смольников М.В., Шипин А.И. Исследование экологических показателей дизеля при работе на многокомпонентном биотопливе	Plotnikov S.A., Sergeev D.G., Smol'nikov M.V., Shipin A.I. Investigation of the environmental performance of a diesel engine when operating on multicomponent biofuel
76	Максимов Р.О., Чичекин И.В. Виртуальный стенд для определения нагрузок в пневматической подвеске задней тележки грузового автомобиля на ранних стадиях проектирования	R.O. Maksimov, I.V. Chichekin A virtual test bench for determining the loads in the air suspension of the rear trolley of a truck at the early stages of design
87	Рахматуллин С.С. Поиск оптимального материала рабочего колеса компрессора с целью повышения эффективности работы системы турбонаддува	Rakhmatullin S.S. Finding the optimal compressor impeller material to improve the efficiency of the turbocharging system

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

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

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-2-9

*Экспериментальные исследования влияния гибридного инвертора на качество
электроэнергии*

Experimental studies of the effect of a hybrid inverter on power quality

д.т.н. Шклярский Я.Э.,
к.т.н. Скамьин А.Н.,
Васильков О.С.

Y.A.E. Shklyarskiy, DSc in Engineering
A.N. Skam'in, PhD in Engineering
O.S. Vasil'kov

Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Россия
s175070@stud.spmi.ru

Saint Petersburg Mining University, Saint
Petersburg, Russia
s175070@stud.spmi.ru

Интеграция альтернативных источников энергии и различных технологий распределенной генерации с силовыми электронными преобразователями в электрических сетях приводит к увеличению разнообразия сети, но при этом и к ужесточению требований различных стандартов, например, ограниченный гармонический состав генерируемого тока, непрерывная работа устройства при искажении напряжения и т.д. Учитывая данный факт, в работе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния гибридного инвертора на показатели качества электроэнергии в точке общего подключения. Был разработан лабораторный стенд, состоящий из трехфазного гибридного инвертора, аккумуляторной батареи (АКБ), линейной нагрузки в виде активного сопротивления и конденсаторной установки. Инвертор был подключен к электрической сети на параллельную работу для питания нагрузки в виде активного сопротивления. Исследовались режимы заряда АКБ и выдачи мощности в сеть при двух вариациях сопротивления системы. Выдаваемая мощность от инвертора варьировалась в пределах от 500 Вт до 2 кВт в режиме генерации электроэнергии в сеть, и в пределах от 50 до 300 Вт в режиме заряда АКБ. В результате лабораторных исследований были получены зависимости суммарных гармонических искажений тока (THDI) при различных режимах работы инвертора и сопротивлениях системы. На основании полученных результатов был разработан алгоритм выбора методов и средств по обеспечению электромагнитной совместимости при работе нагрузки и гибридного инвертора с накопителем энергии, позволяющий снизить влияние гибридных инверторов на искажение напряжения питающей сети.

Ключевые слова: гибридный инвертор, аккумуляторная батарея, показатели качества электроэнергии

The integration of alternative energy sources and various technologies of distributed generation with power electronic converters in electrical networks leads to an increase in the diversity of the network, but at the same time to the tightening of the requirements of various standards, for example, a limited harmonic composition of the generated current, continuous operation of the device with voltage distortion, etc. Taking this fact into account, the paper presents the results of experimental studies of the effect of a hybrid inverter on power quality indicators at the point of common connection. A laboratory bench was developed. It consists of a three-phase hybrid inverter, a stor-

age battery, a linear load in the form of an active resistance and a capacitor unit. The inverter has been connected to the power supply for parallel operation to supply the load in the form of active resistance. The modes of battery charging and power delivery to the network with two variations of the system resistance were investigated. The power output from the inverter varied from 500 W to 2 kW in the mode of generating electricity to the grid, and in the range from 50 to 300 W in the battery charging mode. As a result of laboratory studies, the dependences of the total harmonic current distortion (THDI) were obtained for various operating modes of the inverter and system resistances. On the basis of the obtained results, an algorithm for the selection of methods and means to ensure electromagnetic compatibility during operation of the load and a hybrid inverter with energy storage was developed. It makes it possible to reduce the effect of hybrid inverters on the voltage distortion of the supply network.

Keywords: *hybrid inverter, storage battery, power quality indicators.*

Для цитирования: Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н., Васильков О.С. Экспериментальные исследования влияния гибридного инвертора на качество электроэнергии // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 2-9. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-2-9

Cite as: YA.E. Shklyarskiy, A.N. Skam'in, O.S. Vasil'kov Experimental studies of the effect of a hybrid inverter on power quality. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 3(49), pp. 2-9 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-2-9

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-10-22

К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Управление рисками

Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Management of risks

к.т.н. Попов В.А.,
Еланцев В.В.

V.A. Popov, PhD in Engineering
V.V. Yelantsev

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия
evv3012@gmail.com

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia
evv3012@gmail.com

Цель статьи – поиск механизмов ранжирования и арбитражирования потребностей (комплекса технических воздействий), достаточных для обеспечения необходимого уровня надёжности и безопасности транспортировки возрастающих пассажиропотоков. Объектом исследования является эскалаторное хозяйство, а предметом – система технического обслуживания и ремонта. Научной новизной выступает использование информационных технологий, содержащих сочетание математических инструментов, реализующих необходимый функционал, для цифровой трансформации системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена. В начале статьи описывается объект применения, цель и задачи концепции цифровой трансформации, ее архитектура и функции, а также особенности внедрения. Далее в работе делается акцент на поддержании надёжности и безопасности транспортировки пассажиропотоков, как основных функциях концепции. Затем приводятся ситуации риска (события) и обобщенная модель их формирования, раскрывающая причинно-следственный комплекс. После излагаются задачи и сам процесс управления рисками, строящийся на определение величины риска, исходные данные для которого извлекаются из информационного пространства, содержащего электронные документы, включающие, в том числе данные о работах (технических воздействиях), а получившийся результат соотносится с различными шкалами. Помимо этого, математический аппарат управления

рисками включает матрицы, содержимое которых используется стратегиями поддержки принятия решений. Описанный в работе математический аппарат реализует механизм ранжирования и арбитражирования потребностей (комплекса технических воздействий), являющийся в свою очередь составной частью методики повышения долговечности, надёжности и безопасности эксплуатации эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры. Представленная концепция позволяет при дефиците ресурсов формировать комплекс воздействий для наиболее проблемных элементов, и перевести эксплуатацию элементов эскалаторов и связанных с ними объектов инфраструктуры на систему по состоянию, способствующую обоснованному увеличению назначенных сроков службы с сохранением достаточных уровней безопасности. В заключении приводятся ожидаемые практические результаты внедрения концепции.

Ключевые слова: эскалатор, управление рисками, цифровая трансформация, ресурсный подход, техническое состояние, техническое воздействие

The purpose of the article is to find mechanisms for ranking and arbitrating needs (a set of technical actions) sufficient to ensure the required level of reliability and safety of transportation of increasing passenger traffic. The object of the research is the escalator facilities, and the subject is the system of maintenance and repair. Scientific novelty is the use of information technologies containing a combination of mathematical tools that implement the necessary functionality for the digital transformation of the system of maintenance and repair of the escalator facilities of the underground. At the beginning of the article, the object of application, the goal and objectives of the concept of digital transformation, its architecture and functions, as well as implementation features are described. Further, the work focuses on maintaining the reliability and safety of transportation of passenger traffic as the main functions of the concept. Then there are presented the situations of risk (events) and a generalized model of their formation, revealing the cause-and-effect complex. After that, the tasks and the risk management process itself are shown. These are based on determining the magnitude of risk, which initial data are extracted from the information space containing electronic documents, including data on work (technical impacts), and the result is correlated with various scales. In addition, the mathematical apparatus of risk management includes matrices, which are used by decision support strategies. The mathematical apparatus described in the work implements a mechanism for ranking and arbitrating needs (a set of technical actions), which, in turn, is an integral part of the methodology for increasing the durability, reliability and safety of operation of escalators and associated infrastructure. The presented concept allows, in case of a shortage of resources, to form a complex of impacts for the most problematic elements, and to transfer the operation of escalator elements and related infrastructure facilities to a system according to the state that contributes to a reasonable increase in the assigned service life while maintaining sufficient safety levels. In conclusion, the expected practical results of the implementation of the concept are presented.

Keywords: escalator, risk management, digital transformation, resource approach, technical condition, technical impact.

Для цитирования: Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Управление рисками // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 10-22. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-10-22

Cite as: V.A. Popov, V.V. Yelantsev Increasing the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Management of risks. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 10-22 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-10-22

Метод расчета технических характеристик и параметров движения масштабных моделей колесных машин, обеспечивающий подобие протекающих процессов при испытаниях

Method for calculating technical characteristics and parameters of movement of scale models of wheeled vehicles, ensuring the similarity of the processes during testing

д.т.н. Жилейкин М.М.,
Журкин М.М.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана», Москва, Россия
jileykin_m@mail.ru, mimizhur@gmail.com

M.M. Zhileykin, DSc in Engineering
M.M. Zhurkin

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia
jileykin_m@mail.ru, mimizhur@gmail.com

В современных условиях при проектировании новых моделей автомобилей возникает потребность проверки тех или иных решений по формированию технического облика не только методами имитационного моделирования, но и на реальных образцах. Натурные дорожные испытания автомобилей позволяют сохранять при эксперименте полное динамическое подобие, но их проведение возможно лишь после изготовления опытного образца автомобиля, требующего очень больших материальных затрат. Одним из путей решения этой проблемы является создание моделей, представляющих собой уменьшенную копию проектируемого транспортного средства. Основные затруднения, которые встречается экспериментатор при испытании масштабной модели автомобиля, заключаются в необходимости точного воспроизведения условий, имеющих место при движении в реальных дорожных условиях. Целью данной работы является нахождение связи между параметрами реального автомобиля и масштабной модели для экспериментальной отработки алгоритмов работы системы динамической стабилизации колесного транспортного средства. На основе теории подобия предложен метод расчета технических характеристик и параметров движения масштабных моделей для реальных полномасштабных колесных машин при обеспечении подобия протекающих процессов для масштабных моделей и для реальных машин. Получены основные зависимости для масштабных коэффициентов для силовых, кинематических и размерных факторов. Методами имитационного моделирования движения масштабной модели и полномасштабной колесной машины подтверждено подобие протекающих в них процессов.

Ключевые слова: масштабная модель, константы подобия, подобие движения,

Nowadays, when designing new vehicle models, there is a need to test certain solutions for the formation of a technical appearance both by simulation methods and on production samples. Full-scale road tests of vehicles make it possible to maintain full dynamic similarity during the experiment, but they can be carried out only after manufacturing of a vehicle prototype, which requires a lot of material costs. One of the ways to solve this problem is to create models that are a reduced copy of the designed vehicle. The main difficulty that appears when testing a scale model of vehicle is the need to accurately reproduce the conditions that occur when driving in real road conditions. The purpose of this paper is to find a relationship between the parameters of a production vehicle and a scale model for experimental development of algorithms for the dynamic stabilization of a wheeled vehicle. A method for calculating the technical characteristics and motion parameters of scale models for real full-scale wheeled vehicles while ensuring the similarity of the ongoing processes for scale models and for production vehicles is proposed on the basis of the theory of similarity. The main dependences for scale factors for force, kinematic and dimensional factors are obtained. The similarity of the occurring processes was confirmed by the methods of simulation modeling of the movement of a scale model and a full-scale wheeled vehicle.

Keywords: scale model, similarity constants, similarity of motion.

Для цитирования: Жилейкин М.М., Журкин М.М. Метод расчета технических характеристик и параметров движения масштабных моделей колесных машин, обеспечивающий подобие протекающих процессов при испытаниях // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 23-30. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-23-30

Cite as: M.M. Zhileykin, M.M. Zhurkin Method for calculating technical characteristics and parameters of movement of scale models of wheeled vehicles, ensuring the similarity of the processes during testing. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 23-30 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-23-30

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-31-41

Исследование влияния размеров конечных элементов на точность моделирования клеевого соединения в автомобильных конструкциях

Study of the effect of finite element dimensions on the simulation accuracy of adhesive joint in automotive structures

Лю И,
д.т.н. Зузов В.Н.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
liuyi941003@gmail.com

Liu Yi,
V.N. Zuzov, DSc in Engineering

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia
Liuyi941003@gmail.com

В данной статье изучено влияние размеров конечных элементов на точность моделирования клеевого соединения в автомобильных конструкциях с использованием программного комплекса LS-Dyna. Моделирование осуществлялось при квазистатическом нагружении для клеевого соединения «внахлест». Оценивались свойства и разрушение клеевого материала по направлению сдвига. Характеристики клеевого слоя получены из экспериментов при использовании гидропресса и других устройств по международным стандартам ASTM 638-03 и DIN 54451-11. 1978 с разными скоростями раздвижки и толщинами клеевого слоя. Из экспериментов выявлено, что свойства клеевого материала сильно зависят от скорости деформации и толщины клеевого слоя, поэтому это необходимо было учитывать при моделировании. Для решения поставленной задачи было решено и оценено 12 вариантов конечно-элементных моделей, в том числе путем сравнения с результатами экспериментов для клеевого соединения «внахлест». В результате анализа напряжено-деформированных состояний моделей клеевого соединения при квазистатическом нагружении в программном комплексе LS-Dyna получены рекомендуемый размер и число слоев конечных элементов для моделирования клеевого соединения в автомобильных конструкциях. Рациональный размер граней объемного конечного элемента принят равным $2 \times 2 \text{ мм}^2$ с учетом погрешностей моделирования и затрат машинного времени для расчета применительно к многовариантным расчетам конструкций на стадии проектирования. Определено также рекомендуемое число слоев конечных элементов в конечно-элементной модели по толщине клеевого слоя, которые следует выбрать для высокоточного описания свойств склейки и обеспечения эффективности вычислений. При этом выявлено, что увеличение числа слоев конечных элементов незначительно повышает точность моделирования и существенно увеличивает требуемое машинное время для расчета.

Ключевые слова: *LS-Dyna, конечно-элементная модель, напряжено-деформированное состояние, клеевое соединение, размер конечных элементов*

This article studies the effect of finite element dimensions on the accuracy of simulation of adhesive bond in automotive structures using the LS-Dyna software package. The simulation was carried out under quasi-static loading for an “overlapped” adhesive joint. The properties and destruction of

the adhesive material in the direction of shear were evaluated. The characteristics of the adhesive layer were obtained from experiments using a hydraulic press and other devices according to international standards ASTM 638-03 and DIN 54451-11.1978 with different sliding speeds and adhesive layer thicknesses. It was revealed from experiments that the properties of the adhesive material strongly depend on the deformation rate and the thickness of the adhesive layer, so this had to be taken into account when modeling. To solve this problem, 12 variants of finite element models were solved and evaluated, including by comparing with the results of experiments for glued “overlapped” joints. As a result of the analysis of the stress-strain states of models of an adhesive joint under quasi-static loading in the LS-Dyna software package, the recommended size and number of layers of finite elements were obtained for modeling an adhesive joint in automotive structures. The rational size of the facets of a volumetric finite element is $2 \times 2 \text{ mm}^2$, taking into account the modeling errors and the cost of computer time for the calculation in relation to multivariate calculations of structures at the design stage. It was determined the recommended number of layers of finite elements in the finite element model by the thickness of the adhesive layer, that should be selected for a highly accurate description of the gluing properties and ensuring the efficiency of calculations. At the same time, it was revealed that an increase in the number of layers of finite elements insignificantly increases the accuracy of modeling and significantly increases the required computer time for the calculation.

Keywords: LS-DYNA, finite element model, stress-strain state, adhesive joint, size of finite elements.

Для цитирования: Лю И, Зузов В.Н. Исследование влияния размеров конечных элементов на точность моделирования клеевого соединения в автомобильных конструкциях // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 31-41. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-31-41

Cite as: Liu Yi, V.N. Zuzov Study of the effect of finite element dimensions on the simulation accuracy of adhesive bonding in automotive structures. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 31-41 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-31-41

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-42-48

Оценка повреждения ТС с точки зрения сложной технической системы с собственной структурой

Assessment of vehicle damage from the point of a complex technical system with its own structure

Тупицын И.И.¹,
к.т.н. Зубриский С.Г.¹,
к.т.н. Красавин П.А.²

I.I. Tupitsyn¹,
S.G. Zubris'kiy¹, PhD in Engineering
P.A. Krasavin², PhD in Engineering

¹ Государственный научный центр
Российской Федерации ФГУП «НАМИ»,
Москва, Россия

¹Central research and development automobile
and engine institute NAMI, Moscow, Russia

² Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет
(МАДИ), Москва, Россия
igor.tupitsyn@nami.ru

²Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University (MADI), Moscow,
Russia
igor.tupitsyn@nami.ru

В статье в виде алгоритма оценки диагностических параметров (вероятных связей) рассматривается часть исследования послеремонтной надёжности транспортных средств с точки зрения представления их в качестве сложной технической системы. На сегодняшний день проблема надёжности транспортных средств в эксплуатации законодательно поставлена на

контроль президентом РФ и входит в стратегию по обеспечению безопасности дорожного движения до 2023 года, являющегося частью Национального проекта «Безопасные дороги».

Исходными данными исследования на этапе оценки вероятных связей являются параметры движения транспортного средства в предаварийный интервал времени и напряжение, действующее в месте контакта исследуемого объекта, полученное исходя из этих параметров. Основным методом оценки является подсчёт ячеек разного типа по методу сеток в зависимости от характера повреждения транспортного средства. В целях декомпозиции места контакта на ячейки разного типа рекомендуется использовать соответствующие поверенные средства измерений и аттестованное оборудование: дефектоскопы и прочее. Для удобства применения алгоритма и снижения погрешности использования приведённой математической модели в комплексной оценке надёжности транспортных средств в статье приводится определение приведённого объёма и поправочных коэффициентов.

Выходными данными алгоритма оценки диагностических параметров являются уточнённые значения напряжений в месте контакта исследуемого объекта, а также детальная картина распределения энергии деформации в объекте. В результате, полученные величины могут быть использованы для дальнейшей оценки изменения регламентированных значений свойств транспортного средства, установленных изготовителем и контролируемых в рамках системы предупреждения отказов или технического осмотра.

Ключевые слова: *остаточный ресурс, транспортное средство (ТС), оценка повреждения, дорожно-транспортное происшествие (ДТП).*

There is considered a part of the study of post-repair reliability of vehicles from the point of a complex technical system in the form of an algorithm for evaluating diagnostic parameters (probable connections). The problem of the reliability of vehicles in operation is legally put under the control of the President of the Russian Federation and is included in the strategy for ensuring road safety until 2023, which is part of the National Project “Safe Roads”.

The initial data of the study at the stage of evaluating probable connections are the parameters of the vehicle movement in the pre-accident time interval and the voltage acting at the contact point of the object, which is obtained based on these parameters. The main method of assessment is the calculation of cells of different types using the grid method, depending on the nature of the damage to the vehicle. In order to decompose the contact point into cells of different types, it is recommended to use appropriate certified measuring instruments and certified equipment: flaw detectors and so on. For the convenience of using the algorithm and reducing the error of using the given mathematical model in a comprehensive assessment of the reliability of vehicles, the article provides a definition of the reduced volume and correction coefficients.

The output data of the algorithm for evaluating diagnostic parameters are the updated values of stresses at the contact point of the object under study, as well as a detailed picture of the distribution of strain energy in the object. As a result, the obtained values can be used for further evaluation of changes in the regulated values of the vehicle properties established by the manufacturer and controlled within the framework of the failure prevention system or technical inspection.

Keywords: *residual resource, vehicle, damage assessment, road traffic accident (RTA).*

Для цитирования: Тупицын И.И., Зубрицкий С.Г., Красавин П.А. Оценка повреждения ТС с точки зрения сложной технической системы с собственной структурой // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 42-48. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-42-48

Cite as: I.I. Tupitsyn, S.G. Zubris'kiy, P.A. Krasavin Assessment of vehicle damage from the point of a complex technical system with its own structure. *Izvestiya MG TU «MAMI»*. 2021. No 3(49), pp. 42-48 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-42-48

Исследование молекулярных накопителей энергии**Research on molecular energy storage**

к.ф.-м.н. Зуев С.М.¹,
к.т.н. Малеев Р.А.¹,
Шматков Ю.М.¹,
Ханджалов М.Ю.¹,
к.т.н. Яхутль Д.Р.²

¹ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия,

²ФГУП НИИАЭ, Москва, Россия,
eope@mospolytech.ru

S.M. Zuyev¹, PhD in Physics and Mathematics
R.A. Maleyev¹,
YU.M. Shmatkov¹, PhD in Engineering
M.YU. Khandzhalov¹,
D.R. Yakhutl², PhD in Engineering

¹Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

²Federal State Unitary Enterprise Scientific Research and Experimental Institute of Road Electronics and Electric Devices, Moscow, Russia
eope@mospolytech.ru

В данной статье проведен сравнительный анализ различных накопителей энергии. Проведен подробный обзор и анализ молекулярных накопителей энергии, определены их основные характеристики и параметры, а также области применения.

Определены основные типы молекулярных накопителей энергии: конденсаторы с двойным электрическим слоем, псевдоконденсаторы, гибридные конденсаторы. Приведено сравнение характеристик различных элементов питания. Представлены параметры различных накопителей энергии. Проведен анализ молекулярных накопителей энергии и аккумуляторов, выявлены их преимущества и недостатки.

Показано, что молекулярные накопители энергии или электрохимические конденсаторы с двойным слоем, являются идеальными системами накопления энергии вследствие высокой удельной энергии, быстрой зарядки и большого срока службы по сравнению с обычными конденсаторами.

В статье представлены осциллограммы литий-ионного аккумулятора с напряжением 10,8 В при импульсном токе нагрузки 2А ноутбука при включении молекулярного накопителя энергии и без него, а также осциллограммы литий-ионного аккумулятора с напряжением 10,8 В при параллельном выключении молекулярного накопителя энергии емкостью 7 Ф и без него для ноутбука с DVD. Приведенный сравнительный анализ показывает, что при включении выключением молекулярного накопителя энергии емкостью 7 Ф значительно улучшаются переходные процессы и не происходит провалов напряжения питания. Приведены зависимости времени работы литий-ионного аккумулятора 3,6 В 600 мАч при нагрузке 2 А для питания устройств мобильной сотовой связи при включении молекулярного накопителя энергии и без него. Показано, что при включении молекулярного накопителя энергии время работы аккумулятора увеличивается почти на 20%.

Ключевые слова: накопитель энергии, конденсатор, молекулярные накопители энергии, электрохимический конденсатор, псевдоконденсатор, режим заряда, электроника, гибридные системы накопления энергии.

This article provides a comparative analysis of various energy storage devices. A detailed review and analysis of molecular energy storage units is carried out, their main characteristics and parameters, as well as their application areas, are determined.

The main types of molecular energy storage are determined: electric double layer capacitors, pseudo capacitors, hybrid capacitors. Comparison of the characteristics of various batteries is given. The parameters of various energy storage devices are presented. The analysis of molecular energy storage devices and accumulators is carried out. Their advantages and disadvantages are revealed.

It has been shown that molecular energy storage or double layer electrochemical capacitors are

ideal energy storage systems due to their high specific energy, fast charging and long life compared to conventional capacitors.

The article presents oscillograms of a lithium-ion battery with a voltage of 10.8 V at a pulsed load current of 2A of a laptop with and without a molecular energy storage device, as well as oscillograms of a laptop with DVD lithium-ion battery with a voltage of 10.8 V with a parallel shutdown of a molecular energy storage device with a capacity of 7 F and without it. The comparative analysis shows that when the molecular energy storage unit with a 7 F capacity is switched on and off, transient processes are significantly improved and there are no supply voltage dips. The dependences of the operating time of a 3.6 V 600 mAh lithium-ion battery at a load of 2 A for powering mobile cellular devices with and without a molecular energy storage are given. It is shown that when the molecular energy storage device is switched on, the battery operation time increases by almost 20%.

Keywords: *energy storage, capacitor, molecular energy storage, electrochemical capacitor, pseudo capacitor, charge mode, electronics, hybrid energy storage systems.*

Для цитирования: Зуев С.М., Малеев Р.А., Шматков Ю.М., Ханджалов М.Ю., Яхутль Д.Р. Исследование молекулярных накопителей энергии // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 49-56. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-49-56

Cite as: S.M. Zuyev, R.A. Maleyev, YU.M. Shmatkov, M.YU. Khandzhalov, D.R. Yakhutl' Research on molecular energy storage. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 49-56 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-49-56

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-57-69

Идентификация параметров курсового движения автомобиля с использованием сигма-точечного фильтра Калмана

Identification of vehicle directional parameters using the sigma-point Kalman filters

Чаплыгин А.В.,
к.т.н. Куликов И.А.

A.V. Chaplygin,
I.A. Kulikov, PhD in Engineering

Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», Москва, Россия
chaplyghin.94@mail.ru

Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia
chaplyghin.94@mail.ru

В статье рассматривается проблема идентификации параметров курсового движения автомобиля, которые необходимы для работы систем активной безопасности (САБ). Отсутствие возможности определять часть необходимых для функционирования САБ параметров путем прямых измерений бортовыми датчиками (в силу отсутствия соответствующих датчиков в серийных автомобилях) обуславливает актуальность применения для идентификации этих параметров косвенных вычислительных методов, которые основаны на математических структурах, называемых наблюдателями.

Цель настоящей работы заключается в создании системы идентификации параметров движения автомобиля, которая, используя доступные на борту автомобиля измерения и математический аппарат теории наблюдателей и оптимальных фильтров, косвенным образом определяет неизмеряемые параметры, представляющие важность для работы систем активной безопасности.

На основании анализа существующих методов и инструментов предложена схема наблюдателя параметров курсового движения автомобиля с использованием сигма-точечного фильтра Калмана. Наблюдатель идентифицирует боковую составляющую вектора скорости автомобиля, коэффициенты бокового сцепления шин с опорной поверхностью и углы увода колес посредством модели динамики автомобиля и бортовых инерциальных датчиков, изме-

ряющих линейные ускорения и скорость рыскания автомобиля.

Работоспособность и адекватность наблюдателя подтверждена путем сопоставления идентифицируемых им параметров с прямыми измерениями, выполненными в ходе дорожных испытаний автомобиля. В качестве меры оценки точности использовалась среднеквадратическая ошибка идентификации относительно прямых измерений параметров курсового движения. Дополнительная оценка адекватности произведена путем сравнения идентифицированной характеристики сцепления (зависимости коэффициента сцепления от угла увода) с характеристикой, полученной путем аппроксимации с помощью математической модели шины. Оценка показала хорошее качество идентификации параметров курсового движения, обеспечиваемое разработанным наблюдателем, что дает основания считать его полезным инструментом для исследования и разработки систем активной безопасности.

Ключевые слова: курсовое движение автомобиля, идентификация параметров, наблюдатель, сигма-точечный фильтр Калмана

The article discusses the problem of identifying the parameters of the vehicle's directional movement, which are necessary for the operation of active safety systems (SAB). The inability to determine some of the parameters necessary for the functioning of the SAB by direct measurements with on-board sensors (due to the absence of corresponding sensors in production vehicles) makes it relevant to use indirect computational methods for identifying these parameters, which are based on mathematical structures called observers.

The purpose of this work is to create a system for identifying vehicle motion parameters, which, using the measurements available on board the vehicle and the mathematical apparatus of the theory of observers and optimal filters, indirectly determines unmeasured parameters that are important for the operation of active safety systems.

Based on the analysis of existing methods and tools, a diagram of the observer of the parameters of the vehicle's directional movement using the sigma-point Kalman filter is proposed. The observer identifies the lateral component of the vehicle speed vector, the coefficients of the lateral adhesion of the tires to the supporting surface and the wheel slip angles using the vehicle dynamics model and on-board inertial sensors that measure the linear acceleration and yaw rate of the vehicle.

The observer's performance and adequacy was confirmed by comparing the parameters he identifies with direct measurements made during road tests of the vehicle. There was used a root-mean-square error of identification as a measure for assessing the accuracy with respect to direct measurements of the parameters of course movement. An additional assessment of the adequacy is made by comparing the identified grip characteristic (the dependence of the coefficient of adhesion on the slip angle) with the characteristic obtained by approximation using a mathematical model of the tire. The assessment showed a good quality of identification of course movement parameters provided by the developed observer, which gives grounds to consider it a useful tool for research and development of active safety systems.

Keywords: vehicle directional movement, parameter identification, observer, sigma-point Kalman filter

Для цитирования: Чаплыгин А.В., Куликов И.А. Идентификация параметров курсового движения автомобиля с использованием сигма-точечного фильтра Калмана // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 57-69. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-57-69

Cite as: A.V. Chaplygin, I.A. Kulikov Identification of vehicle directional parameters using the sigma-point Kalman filters. *Izvestiya MGTU «MA MI»*. 2021. No 3(49), pp. 57-69 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-57-69

**Исследование экологических показателей дизеля при работе на
многокомпонентном биотопливе**

***Investigation of the environmental performance of a diesel engine when operating on
multicomponent biofuel***

д.т.н. Плотников С.А.,
к.т.н. Сергеев Д.Г.,
к.т.н. Смольников М.В.,
Шипин А.И.

*Вятский государственный университет
(ВятГУ), Киров, Россия
PlotnikovSA@bk.ru*

S.A. Plotnikov, DSc in Engineering
D.G. Sergeyev, PhD in Engineering
M.V. Smol'nikov, PhD in Engineering
A.I. Shipin

*Vyatka State University, Kirov, Russia
PlotnikovSA@bk.ru*

Местные виды топлива занимают 33,6% в топливном балансе Кировской области. Доля потребления местных видов топлива в регионе является одной из самых высоких в России.

В Вятском государственном университете (ВятГУ) в сотрудничестве с Белорусской государственной сельскохозяйственной академией (БГСХА) ведутся испытания работы автотракторных дизелей на топливах с добавками рапсового масла (РМ) и этанола (Э), и искровых ДВС с добавками генераторного газа (ГГ). Новым направлением работы научной школы является исследование применения многокомпонентных составов биотопливных композиций (МКБТК-15 и МКБТК-25). Использование таких составов в качестве топлива для позволяет компенсировать отдельные отличительные их свойства для дальнейшего применения в ДВС без изменения конструкции и регулировок.

Использование альтернативных топлив (АТ) в ДВС является актуальной темой для исследования. Однако для использования любых АТ нужно, чтобы экологические показатели двигателя оставались в допустимых пределах. Важной задачей является определение зависимостей выбросов токсичных компонентов от нагрузки.

Применение МКБТК-15 и МКБТК-25 в качестве АТ для двигателей улучшит экологическую обстановку в регионе и сократит потребность в товарном топливе. Работа дизеля на многокомпонентных биотопливных композициях даёт возможность снизить дымность ОГ на 65% и 85%, содержание суммарных оксидов азота остаётся на прежнем уровне или несколько снижается.

Отмечается некоторое увеличение содержания углекислого газа CO₂ до 22,3%, решения данной проблемы давно известны. Одним из способов является сохранение и увеличение бо-реальных лесов, которые обладают большими возможностями поглощения парниковых га-зов.

Ключевые слова: дизель, альтернативное топливо, МКБТК-15, МКБТК-25, эко-логические показатели, отработавшие газы.

Local types of fuels occupy 33.6% in the fuel balance of the Kirov region. The share of consumption of local fuels in the region is one of the highest in Russia.

The Vyatka State University (VyatSU) in cooperation with the Belarusian State Agricultural Academy (BSAA) carry out the tests of the operation of automotive diesel engines on fuels with rapeseed oil (RO) and ethanol (E) additives, and spark internal combustion engines with generator gas (GG) additives. A new area of work of the scientific school is the study of the use of multicomponent compositions of biofuel compositions (МКБТК-15 and МКБТК-25). The use of such compositions as a fuel compensates some of their distinctive properties for further use in internal combustion engines without changing the design and adjustments.

The use of alternative fuels (AF) in internal combustion engines is a main topic for research. However, the use of any AF requires that the environmental indicators of the engine remain within acceptable limits. An important task is to determine the dependences of the emissions of toxic com-

ponents on the load.

The use of MKBTK-15 and MKBTK-25 as AF for engines will improve the environmental situation in the region and reduce the need for commercial fuel. The operation of a diesel engine on multicomponent biofuel compositions makes it possible to reduce the smoke content of exhaust gases by 65% and 85%, the content of total nitrogen oxides remains at the same level or slightly decreases.

There is a slight increase in the content of carbon dioxide CO₂ up to 22.3%, but the solutions to this problem are already known. One of the ways is to preserve and increase boreal forests, which have great potential for absorbing greenhouse gases.

Keywords: *diesel, alternative fuel, MKBTK-15, MKBTK-25, environmental indicators, exhaust gases.*

Для цитирования: Плотников С.А., Сергеев Д.Г., Смольников М.В., Шипин А.И. Исследование экологических показателей дизеля при работе на многокомпонентном биотопливе // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 70-75. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-70-75

Cite as: S.A. Plotnikov, D.G. Sergeev, M.V. Smol'nikov, A.I. Shipin Investigation of the environmental performance of a diesel engine when operating on multicomponent biofuel. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 70-75 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-70-75

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-76-86

Виртуальный стенд для определения нагрузок в пневматической подвеске задней тележки грузового автомобиля на ранних стадиях проектирования

A virtual test bench for determining the loads in the air suspension of the rear trolley of a truck at the early stages of design

Максимов Р.О.,
к.т.н. Чичекин И.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
romychmaximov@gmail.com, hiv2@mail.ru

R.O. Maksimov,
I.V. Chichekin, PhD in Engineering

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia
romychmaximov@gmail.com, hiv2@mail.ru

Для определения максимальных нагрузок, действующих в задней пневматической подвески грузового автомобиля, на ранних стадиях проектирования использовано компьютерное моделирование, основанное на решении уравнений динамики твердых тел и реализованное в программном комплексе **Recurdyn**. Подробно рассмотрены компоненты разработанного виртуального стенда, включающего шарниры, силовые связи, ведущие мосты, колесно-ступичный узел с колесом и опорной площадкой. Управление стендом осуществляется с помощью математической модели, созданной в среде расчета динамики твердых тел и связанной с твердотельной моделью подвески программными стандартными средствами приложения. В управляющей модели реализуются наиболее тяжелые режимы нагружения элементов задней пневматической подвески грузового автомобиля. Применение такого стенда позволяет определить нагрузки в шарнирах и силовых связях подвески, определить взаимные положения звеньев для каждого нагрузочного режима, повысить точность расчета нагрузок по сравнению с плоским кинематическим и силовым расчетом. Также математическая модель виртуального стенда позволяет проводить многочисленные параметрические исследования подвески без привлечения дорогостоящих натуральных прототипов. Это позволяет на ранних стадиях проектирования определить все опасные режимы, подобрать рациональные параметры элементов подвески, сократить затраты на проектирование.

В работе показаны результаты моделирования работы виртуального стенда с пневматической подвеской в наиболее типичных режимах нагружения, выявлены наиболее опасные режимы. Доказана работоспособность и адекватность работы математической модели подвески. Показаны примеры определения усилия во всех шарнирах конструкции, выбор максимальные нагрузки для проведения конструкторских расчетов при проектировании пневматической подвески автомобиля.

Ключевые слова: виртуальный стенд, пневматическая подвеска, динамика твердых тел, расчет нагрузок, Recurdyn

To determine the maximum loads acting in the rear air suspension of a truck at the early stages of design there was used computer modeling based on solving equations of dynamics of solids and implemented in the Recurdyn software. The components of the developed virtual test bench, including hinges, power connections, drive axles, a wheel-hub assembly with a wheel and a support platform, are considered in detail. The test bench is controlled using a mathematical model created in the environment for calculating the dynamics of rigid bodies and associated with a solid suspension model by standard software tools of the application. The test bench is controlled using a mathematical model created in the environment for calculating the dynamics of rigid bodies and associated with a solid suspension model by standard software tools of the application. The use of such a test bench makes it possible to determine the loads in the hinges and power connections of the suspension, to determine the mutual positions of the links for each load mode, to increase the accuracy of the calculation of loads in comparison with the flat kinematic and force calculation. The mathematical model of the virtual test bench allows to carry out numerous parametric studies of the suspension without the involvement of expensive full-scale prototypes. This makes it possible at the early stages of design to determine all hazardous modes, select rational parameters of the elements, and reduce design costs.

The paper shows the results of modeling the operation of a virtual test bench with an air suspension in the most typical loading modes, identifying the most dangerous modes. The efficiency and adequacy of the mathematical model of the suspension was proved. Examples of determining the force in all the joints of the structure, the choice of maximum loads for design calculations when designing the air suspension of vehicle were shown.

Keywords: virtual test bench, air suspension, rigid body dynamics, load calculation, Recurdyn

Для цитирования: Максимов Р.О., Чичекин И.В. Виртуальный стенд для определения нагрузок в пневматической подвеске задней тележки грузового автомобиля на ранних стадиях проектирования // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 76-86. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-76-86

Cite as: R.O. Maksimov, I.V. Chichekin A virtual test bench for determining the loads in the air suspension of the rear trolley of a truck at the early stages of design. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 3(49), pp. 76-86 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-76-86

Поиск оптимального материала рабочего колеса компрессора с целью повышения эффективности работы системы турбонаддува

Finding the optimal compressor impeller material to improve the efficiency of the turbocharging system

Рахматуллин С.С.

S.S. Rakhmatullin

*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
samatrakhmatullin@gmail.com*

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia
samatrakhmatullin@gmail.com*

Зачастую с целью повышения эффективности транспортных средств, работающих на дизельных двигателях, на них устанавливаются турбонаддувы. Часть эффективности работы самих турбонаддувов зависит от оптимальных характеристик их рабочих колес, которые, в свою очередь, достигаются выбором подходящих материалов для изготовления импеллеров. Важным свойством материала турбинного колеса является жаростойкость к поступающим отработавшим газам, а компрессорного — стойкость к давлению воздуха, одновременно подающегося к нему и нагнетающегося им.

В работе вопрос повышения эффективности работы системы турбонаддува рассматривается в контексте сравнения трех материалов (никелевый и титановый сплавы, конструкционная сталь), предлагаемых для изготовления рабочего колеса компрессора, путем проектирования его модели с помощью компьютерных программных продуктов. Для этого замеры реальных элементов турбонаддува и их характеристики переносятся в CREO, где высчитываются нужные размеры и проводятся другие необходимые расчеты, которые далее импортируются в ANSYS с целью последующего исследования, включающего в себя тепловой и конструкционный анализы. Сравнение результатов анализов позволяют заключить вывод о преимуществе никелевого сплава перед другими рассматриваемыми материалами в плане его минимальной подверженности деформированию и получения наименьшего суммарного теплового потока в компрессорном рабочем колесе, и рекомендовать этот материал к применению в турбонаддуве или к последующему его сопоставлению и сравнению с ранее рассмотренными материалами, что, как предполагается в исследовании, в совокупном итоге и в некоторой степени может способствовать повышению эффективности самого транспортного средства в целом.

Ключевые слова: турбонаддув, двигатель, компрессорное колесо, повышение эффективности, никелевый сплав, трехмерная модель.

Vehicles powered by diesel engines are equipped with superchargers in order to improve the efficiency of vehicles. The efficiency of the turbochargers themselves partly depends on the optimum performance of their impellers, which in turn is achieved by choosing the right impeller materials. An important property of the material of the turbine wheel is heat resistance to the incoming exhaust gases, and for the compressor wheel it is the resistance to the pressure of the air simultaneously supplied to it and forced by it.

In this paper, the issue of increasing the efficiency of the turbocharging system is considered in the context of comparing three materials (nickel and titanium alloys, structural steel), which are proposed for the manufacture of a compressor impeller by designing its model using computer software products. The measurements of real turbocharging elements and their characteristics are transferred to CREO, where the required dimensions are calculated and other necessary calculations are carried out, which are then imported into ANSYS for the purpose of subsequent research, including thermal and structural analyzes. Comparison of the analysis results allows us to conclude that the nickel alloy is superior to other materials under consideration in terms of its minimum susceptibility to deformation and obtaining the lowest total heat flux in the compressor impeller, and to recommend this material for use in turbocharging or for its subsequent comparison with previously

not considered materials, which, as suggested in the study, to some extent can contribute to an increase in the efficiency of the vehicle.

Keywords: *turbocharging, engine, compressor wheel, efficiency improvement, nickel alloy, 3D model.*

Для цитирования: Рахматуллин С.С. Поиск оптимального материала рабочего колеса компрессора с целью повышения эффективности работы системы турбонаддува // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 3(49). С. 87-94. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-87-94

Cite as: S.S. Rakhmatullin Finding the optimal compressor impeller material to improve the efficiency of the turbocharging system. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 3(49), pp. 87-94 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-49-3-87-94