

ISSN 2074-0530
DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1

1 (47)
2021

ИЗВЕСТИЯ

МГТУ «МАМИ»



НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ»

ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
СРЕДСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

VEHICLES AND POWER PLANTS

№ 1 (47) 2021

Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-0530

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1

В номере

2	Годжаев З.А., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. Вибронагруженность рабочего места оператора и виброзащитные свойства подвесок сидений	Godzhayev Z.A., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Potapov P.V., Iskaliyev A.I. Vibration levels on operator's workplace and vibration protection characteristics of seat suspensions
12	Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Модель прогнозирования	Popov V.A., Yelantsev V.V. Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Forecasting model
23	Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В. Расчет характеристик мощности ветряных турбогенераторов с применением программного модуля Windpowerlib	Ilichev V.YU., Shevelev D.V. Calculation of wind turbine generator power characteristics using Windpowerlib software module
32	Кондратьев А.С., Огородник К.Ф., Фриха М. О расчете коэффициента местного гидравлического сопротивления диафрагм в переходной и ламинарной областях течения	Kondratyev A.S., Ogorodnik K.F., Frikha M. Calculation of the coefficient of local hydraulic diaphragm resistance in transitional and laminar areas of flow
38	Худорожков С.И., Красильников А.А. Численное моделирование динамических процессов в трансмиссии транспортных средств	Hoodorozhkov S.I., Krasilnikov A.A. Numerical simulation of dynamic processes in transmission of vehicle
46	Яхутль Д.Р., Малеев Р.А., Зуев С.М., Шматков Ю.М., Рябык Е.А. Методика определения температурных полей свечи зажигания	Yakhtul' D.R., Maleyev R.A., Zuyev S.M., Shmatkov YU.M., Ryabykh YE.A. Method for determining the temperature fields of the spark plug
54	Плотников С.А., Карташевич А.Н., Мотовилова М.В. Исследование экологических характеристик дизеля при работе на активированном топливе	Plotnikov S.A., Kartashevich A.N., Motovilova M.V. Investigation of the environmental characteristics of a diesel engine when operating on activated fuel
63	Торопов Е.И., Трусов Ю.П., Вашурин А.С., Мошков П.С. Современный подход к тестированию и валидации систем помощи водителю	Toropov YE.I., Trusov YU.P., Vashurin A.S., Moshkov P.S. Modern approach to testing and validation of driver assistance systems
73	Тукмаков Д.А. Численное исследование влияния интенсивности коагуляции капель на распределение фракций полидисперсного аэрозоля	Tukmakov D.A. Numerical study of the effect of droplet coagulation intensity on polydisperse aerosol fraction distribution
81	Сулегин Д.А., Зузов В.Н. Топологическая оптимизация конструкции крыши легкового автомобиля с целью повышения энергоемкости при боковом ударе	Sulegin D.A., Zuzov V.N. Topological optimization of the roof structure of a passenger car in order to increase energy intensity in a side impact
89	Малышев А.Н., Груненко Е.А., Дебелов В.В., Козловский В.Н., Шишков А.Н. Математическое моделирование системы контроля сопротивления изоляции высоковольтной электросети гибридного автомобиля	Malyshev A.N., Grunenkov YE.A., Debelov V.V., Kozlovskiy V.N., Shishkov A.N. Mathematical modeling of a system for monitoring the insulation resistance of a high-voltage power grid of a hybrid vehicle

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

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

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11

***Вибронагруженность рабочего места оператора и виброзащитные свойства
подвесок сидений***

***Vibration levels on operator's workplace and vibration protection characteristics of seat
suspensions***

Член-корр. РАН, д.т.н. Годжаев З.А.¹,
д.т.н. Ляшенко М.В.²,
д.т.н. Шеховцов В.В.²,
к.т.н. Потапов П.В.²,
Искалиев А.И.²

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

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

Z.A. Godzhayev¹, DSc in Engineering,
Corresponding member of the Russian Academy
of Sciences

M.V. Lyashenko², DSc in Engineering
V.V. Shekhovtsov², DSc in Engineering
P.V. Potapov², PhD in Engineering
A.I. Iskaliyev²

¹Federal Agroengineering Center VIM, Moscow,
Russia

fic51@mail.ru,
²Volgograd State Technical University,
Volgograd, Russia
shehovtsov@vstu.ru

В данной статье осуществлен анализ характера и параметров основных эксплуатационных возмущений, энергия которых прямым или косвенным образом передается на рабочее место оператора тракторной техники с гусеничным или колесным движителем при выполнении различных технологических операций, на основе данных экспериментальных исследований. Рассмотрен основной рабочий диапазон частот данных эксплуатационных возмущений. Дана оценка вклада каждой частотной составляющей в общий уровень вибровоздействий на рабочем месте оператора. На примере использования результатов натурных измерений реальных эксплуатационных возмущений и вибрационных характеристик на колесном тракторе К-744Р1(ст.), работавшем в агрегате с плоскорезом ПГ-3-5 в режиме вспашки стерни с постоянной скоростью движения, проведено сравнительное исследование виброзащитных свойств различных по конструкции подвесок сидений. Описана методика натурных измерений, включая используемое специализированное оборудование фирм «ZETLAB» и «Ассистент», режим, схему установки датчика и иные условия. С помощью численного метода Рунге-Кутты и инструментов математического моделирования в программной среде Simulink MatLab была имитирована работа серийной подвески сиденья трактора К-744Р1(ст.), пневматической подвески сиденья фирмы «Sibesco» с ножничным направляющим механизмом и предлагаемой авторами инновационной пневматической подвески сиденья (на базе «Sibesco») с управляемым отбором энергии колебаний и с последующей её рекуперацией. Получены расчетные осциллограммы и спектры вертикальных ускорений на подушке сиденья, поддресоренного при помощи каждой из рассмотренных подвесок, при входном воздействии изме-

ренных реальных эксплуатационных возмущений. Подведены итоги анализа результатов исследования.

Ключевые слова: вибровоздействия, подвеска сиденья, виброзащитные свойства, математическое моделирование, результаты исследований

This article analyzes the nature and parameters of the main operational disturbances, which energy is directly or indirectly transferred to the operator's workplace of tractor with a caterpillar or wheeled propeller when performing various technological operations, based on experimental research data. The main operating frequency range of these operational disturbances is considered. The contribution of each frequency component to the overall level of vibration at the operator's workplace is assessed. The example of implementation the results of field measurements of real operational disturbances and vibration characteristics on a K-744R1 (st.) wheeled tractor, which operated in a unit with a PG-3-5 plane cutter in the mode of plowing stubble at a constant speed of movement was used. The comparative study of vibration-protective properties of various designs of seat suspension was carried out. The technique of field measurements, including specialized equipment of the ZETLAB and Assistant companies, the mode, the sensor installation scheme and other conditions are described. Using the numerical Runge-Kutta method and mathematical modeling tools in the Simulink MatLab software environment, the operation of the serial suspension of the K-744R1 (st.) tractor seat, air suspension of the Sibeco seat with a scissor guiding mechanism and the innovative air suspension of the seat (based on Sibeco) with controlled extraction of vibration energy and its subsequent recuperation was simulated. There were obtained the calculated oscillograms and spectra of vertical accelerations on a seat cushion, sprung with each of the considered suspensions under the input action of measured real operational disturbances. The results of the analysis of the research results are summed up.

Keywords: vibration loads, seat suspension, vibration protections characteristics, mathematical modeling, research results

Для цитирования: Годжаев З.А., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Потапов П.В., Искалиев А.И. Вибронагруженность рабочего места оператора и виброзащитные свойства подвесок сидений // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 2–11. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11

Cite as: Z.A. Godzhayev, M.V. Lyashenko, V.V. Shekhovtsov, P.V. Potapov, A.I. Iskaliyev Vibration levels on operator's workplace and vibration protection characteristics of seat suspensions. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 2–11 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-12-22

К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Модель прогнозирования

Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Forecasting model

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, evv3012@gmail.com

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

Метрополитены Москвы и Санкт-Петербурга старейшие в России. Инфраструктурный комплекс каждого из них имеет в своем составе разнородные парки техники. Парк подвиж-

ного состава в последнее десятилетие преимущественно обновился, в то время как из-за особенностей эксплуатации и в основном по финансовым причинам, эскалаторный парк ещё долгое время не будет заменён. В связи с чем основной задачей подразделений отвечающих за эксплуатацию эскалаторов является поддержание в исправном состоянии интенсивно стареющего парка. Таким образом формируется ситуация, при которой эскалаторное хозяйство является источником затрат для удовлетворения постоянно возрастающей потребности в ресурсах. Вместе с тем ограниченность выделения всех видов ресурсов только усугубляет сложившуюся ситуацию.

Вышеперечисленные обстоятельства способствуют актуализации вопроса подбора инструментария, позволяющего повысить эффективность и безопасность эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. По мнению авторов работы одним из таких инструментов может стать прогнозирование технического состояния элементов подсистем эскалатора, выполненное на основе специальной маршрутизации информационных потоков, предназначенной для оптимального распределения выделяемых ресурсов.

Так как эскалатор это сложный технический объект повышенной опасности, то для него маршрутизация информационных потоков, характеризующих его техническое состояние, возможна только на основе предварительной декомпозиции на информационные уровни.

По этой причине начало статьи посвящено декомпозиции технического состояния эскалатора на четыре информационных уровня, охватывающих все аспекты технического состояния от микроуровня состояния материалов, из которых изготовлены элементы подсистем эскалатора, заканчивая функциональным состоянием всего эскалатора. В дальнейшем раскрывается цель работы, которая состоит в описании общей математической модели прогнозирования технического состояния элементов подсистем эскалатора и требований к ее построению. Также в работе описывается основная задача, которую она решает предложенная прогнозная модель. В заключение рассматриваются варианты использования предложенной модели.

Научная новизна предложенного подхода заключается в использовании современного математического аппарата теории нечётких множеств для обработки параметрической информации, элементов искусственного интеллекта, а также прецедентного подхода при анализе эксплуатационной ситуации, которые в своем сочетании необходимы для построения прогнозной модели технического состояния в приложении к эскалаторному хозяйству метрополитена.

С практической точки зрения следует отметить, что предложенная математическая модель, реализованная на основе современных информационных технологий, позволит более рационально настроить механизмы распределения выделяемых ресурсов, обеспечивая при этом необходимый уровень безопасности транспортировки пассажиров.

Ключевые слова: эскалатор, прогнозирование, техническое обслуживание и ремонт, прецедент, нейронная сеть, техническое состояние

The subways of Moscow and St. Petersburg are the oldest in Russia. Its infrastructure includes a diverse fleet of equipment. The fleet of rolling stock in the last decade was mainly renewed, while due to the peculiarities of operation and mainly for financial reasons, the escalator fleet will not be replaced for a long time. In this connection, the main task of the departments responsible for the operation of escalators is to maintain the rapidly aging fleet in good condition. Thus, a situation, when the escalator economy is a source of costs to meet the constantly increasing demand for resources is formed. At the same time, the limited allocation of all types of resources only aggravates the current situation.

The above circumstances contribute to the actualization of the issue of selection of tools, which makes it possible to increase the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. According to the authors of the paper, one of such tools can be the forecasting of the technical state of the elements of the escalator subsystems, made on the basis of special routing of information flows, designed for the optimal distribution of allocated resources.

Since an escalator is a complex technical object of increased danger, the routing of information

flows for it characterizing its technical condition is possible only on the basis of a preliminary decomposition into information levels.

For this reason, the beginning of the paper is devoted to the decomposition of the technical state of the escalator into four information levels, covering all aspects of the technical state from the micro-level of the state of materials from which the elements of the escalator subsystems are made, ending with the functional state of the entire escalator.

The purpose of the work is further revealed. It consists in describing a general mathematical model for predicting the technical state of the elements of the escalator subsystems and the requirements for its construction. The work describes the main task that solves the proposed forecast model. In conclusion, the options for using the proposed model are considered.

The scientific novelty of the proposed approach lies in the use of the modern mathematical apparatus of the fuzzy set theory for processing parametric information, elements of artificial intelligence, as well as a precedent approach in analyzing the operational situation, which, in combination, are necessary to build a predictive model of the technical state as applied to the escalator facilities of the subway. From a practical point of view, it should be noted that the proposed mathematical model, implemented on the basis of modern information technologies, will make it possible to more rationally adjust the mechanisms for allocating resources, while ensuring the necessary level of safety for passenger transportation.

Keywords: *escalator, forecasting, maintenance and repair, precedent, neural network, technical condition.*

Для цитирования: Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Модель прогнозирования // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 12–22. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-12-22

Cite as: V.A. Popov, V.V. Yelantsev Improving the efficiency and safety of operation of underground tunnel escalators. Forecasting model. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 12–22 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-12-22

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-23-31

Расчёт характеристик мощности ветряных турбогенераторов с применением программного модуля Windpowerlib

Calculation of wind turbine generator power characteristics using Windpowerlib software module

К.Т.Н. Ильичев В.Ю.,
К.Т.Н. Шевелев Д.В.

V.Y. Ilichev, PhD in Engineering
D.V. Shevelev, PhD in Engineering

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

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

Проблема использования альтернативных источников энергии с каждым годом приобретает всё большую актуальность. Одним из видов наиболее перспективных установок альтернативной энергетики являются ветряные турбогенераторы.

Статья посвящена созданию и апробации расчётной программы для определения основных показателей ветряных генераторов – зависимости коэффициента мощности (КПД) и вырабатываемой мощности от скорости ветра, кривой изменения мощности по временным интервалам, средней мощности за год.

В начале работы приводятся основные сведения об установках альтернативной энергетики и в частности, о ветрогенераторах, рассматриваются их достоинства, недостатки и способы технико-экономического обоснования целесообразности применения в данной местности по статистическим данным о погодных условиях.

Далее упоминаются модули, используемые в программе, основным из которых является специальная библиотека команд для расчёта ветряных турбоустановок Windpowerlib. Описывается последовательность реализации этапов алгоритма расчёта: способов ввода погодных данных и основных характеристик турбины, процедуры расчёта мощности турбогенератора, вывода результатов в виде качественно оформленных графиков.

Для апробации разработанной программы произведён расчёт энергетических характеристик одного из наиболее распространённых и широко применяемых в мире ветрогенераторов – модели Siemens SWT 3.6-120, произведено сравнение результатов расчёта с эксплуатационными данными, опубликованными фирмой-изготовителем данной установки. С помощью графиков доказана высокая степень соответствия рассчитанных и фактических характеристик. Определено изменение мощности установки в течение года по часовым временным промежуткам, а также средняя вырабатываемая за год мощность.

Полученный программный продукт позволяет конечному пользователю легко загрузить исходные данные и осуществить автоматический расчёт всех вышеуказанных характеристик любой ветряной турбоустановки.

В заключении сделаны выводы о проделанной работе, приведены рекомендации для расширения сфер применения рассмотренной методики к определению характеристик прочих энергетических установок. Указано планируемое направление дальнейших исследований по данному направлению с использованием разработанного программного продукта.

Ключевые слова: *альтернативная энергетика, ветряная турбина, ветрогенератор, мощность турбины, энергия ветра, модуль Windpowerlib, OpenEnergy Database*

The problem of using alternative energy sources is becoming more and more urgent every year. Wind turbogenerators are one of the most promising alternative power plants.

The article is devoted to the creation and testing of a calculation program for determining the main indicators of wind generators - the dependence of the power factor (efficiency) and the generated power on wind speed, the power change curve by time intervals, and the average power per year.

At the beginning of the work, there is given the basic information about alternative power plants, in particular, about wind generators, their advantages, disadvantages and methods of feasibility study for use in a given area according to weather statistics.

Then there are mentioned the modules used in the program. The main module is a special command library for calculating wind turbines Windpowerlib. The sequence of implementation of the calculation algorithm stages is described: methods of entering weather data and the main characteristics of the turbine, the procedure for calculating the power of the turbine generator, and the output of results in the form of qualitatively formalized graphs.

In order to test the developed program, the energy characteristics of one of the most common and widely used wind generators in the world were calculated, that was Siemens SWT 3.6-120. The calculation results were compared with operational data published by the manufacturer. The graphs proved a high degree of conformity between the calculated and actual characteristics. The plant capacity change during the year is determined by hourly time intervals, as well as the average capacity generated per year.

The resulting software product allows user to easily download input data and automatically calculate all the above characteristics of any wind turbine.

The conclusions were drawn on the work done, recommendations were made to expand the scope of the methodology to determine the characteristics of other power plants. The planned direction of further research in this area of using the developed software product is indicated.

Keywords: *alternative energy, wind turbine, wind generator, turbine power, wind power, Windpowerlib module, OpenEnergy Database*

Для цитирования: Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В. Расчёт характеристик мощности ветряных турбогенераторов с применением программного модуля Windpowerlib // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 23–31. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-23-31

Cite as: V.Y. Ilichev, D.V. Shevelev Calculation of wind turbine generator power characteristics using Windpowerlib software module. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 1(47), pp. 23–31 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-23-31

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-32-37

О расчете коэффициента местного гидравлического сопротивления диафрагм в переходной и ламинарной областях течения

Calculation of the coefficient of local hydraulic diaphragm resistance in transitional and laminar areas of flow

д.т.н. Кондратьев А.С.,
Огородник К.Ф.,
Фриха М.

Kondratyev A.S., DSc in Engineering
Ogorodnik K.F.,
Frikha M.

*Московский политехнический университет,
Москва, Россия
ask41@mail.ru*

*Moscow Polytechnic University, Moscow,
Russia
ask41@mail.ru*

В случае гидравлических машин и аппаратов местные гидравлические сопротивления, как правило, составляют определяющую часть суммарных потерь напора при работе любой гидромашин. Наиболее подробным справочником, выдержавший множество изданий в нашей стране и изданный за рубежом, является «Справочник по гидравлическим сопротивлениям» И.Е. Идельчика. Вместе с тем, анализ, проведенный в цитируемой литературе, показал, что, в зависимости от года издания справочника И.Е. Идельчика, для одинаковых местных сопротивлений, различия в численных значениях одного и того же местного гидравлического сопротивления может достигать кратности. Целью настоящей работы является анализ приведенных в справочнике рекомендаций по расчету коэффициента гидравлического сопротивления диафрагм (отверстий) с любыми формами краев для различных условий перетекания потока в переходной и ламинарной областях внутри трубопровода постоянного поперечного сечения. В частности показано, что для расчета коэффициента заполнения сечения диафрагмы рекомендуются табличные значения и приведена аналитическая зависимость, различия в численных значениях которых достигает 15 %, что вносит неопределенность в результаты конкретных расчетов. В значительно большей степени аналогичное положение имеет место и при использовании рекомендаций по расчету коэффициента гидравлического сопротивления. В этом случае также, приведенные численные табличные значения коэффициентов гидравлического сопротивления трения при прохождении потока через отверстие и рассчитанные по приведенной аналитической зависимости, различаются в кратности, что свидетельствует об отсутствии связи между ними. Это вопрос требует дальнейшего специального рассмотрения.

Ключевые слова: коэффициент местного гидравлического сопротивления, диафрагма, ламинарный, переходный, режим течения.

The local hydraulic resistances in the case of hydraulic machines and devices, as a rule, constitute the determining part of the total head losses during the operation of any hydraulic machine. The most detailed reference book, which has gone through many editions in our country and published abroad, is the “Reference book on hydraulic resistance” by I.E. Idelchik. At the same time, the analysis carried out in the cited literature showed that, depending on the year of publication of the I.E. Idelchik reference book, for the same local resistance, the difference in the numerical values of

the same local hydraulic resistance can reach a multiplicity. The purpose of this work is to analyze the recommendations given in the reference book for calculating the hydraulic resistance coefficient of diaphragms (holes) with any edge shapes for various flow conditions in the transitional and laminar regions inside a pipeline of constant cross-section. In particular, it is shown that tabular values are recommended for calculating the filling factor of the diaphragm section. There is given an analytical dependence of the differences in the numerical values that reaches 15%, which introduces uncertainty in the results of specific calculations. To a much greater extent, a similar situation takes place when using the recommendations for calculating the coefficient of hydraulic resistance. In this case, the given numerical tabular values of the coefficients of hydraulic friction resistance when the flow passes through the hole and calculated from the given analytical dependence, differ in multiplicity, which indicates the absence of a connection between them. This issue requires further special consideration.

Keywords: *coefficient of local hydraulic resistance, diaphragm, laminar, transient, flow regime.*

Для цитирования: Кондратьев А.С., Огородник К.Ф., Фриха М. О расчете коэффициента местного гидравлического сопротивления диафрагм в переходной и ламинарной областях течения // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 32–37. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-32-37

Cite as: A.S. Kondratyev, K.F. Ogorodnik, M. Frikha Calculation of the coefficient of local hydraulic diaphragm resistance in transitional and laminar areas of flow. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 32–37 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-32-37

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-38-45

Численное моделирование динамических процессов в трансмиссии транспортных средств

Numerical simulation of dynamic processes in transmission of vehicle

д.т.н. Худорожков С.И.,
к.т.н. Красильников А.А.

S.I. Hoodorozhkov, DSc in Engineering
A.A. Krasilnikov, PhD in Engineering

*Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия,
xscu-55@mail.ru , a_kr36@mail.ru*

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
xscu-55@mail.ru , a_kr36@mail.ru*

В данной статье рассмотрены вопросы цифрового моделирования физических динамических процессов в трансмиссиях транспортной техники. Целью данного исследования являлось отработка алгоритма численного математического моделирования динамических процессов в трансмиссиях транспортных машин с использованием современных цифровых пакетов программ. Методика включает системный подход к исследованию динамических процессов при переключении, основанный на моделировании работы КПП совместно с двигателем внутреннего сгорания (с учетом его динамических, скоростных и нагрузочных характеристик). Рассмотрен порядок применения пакета программ MATLAB–Simulink, Simscape для численного моделирования динамических процессов. При помощи фундаментальных блоков данных приложений создали модели физических компонентов: двигателя внутреннего сгорания, фрикционных муфт сцепления, зубчатых редукторов, упругих валов, демпфирующих устройств, а также системы управления силовой передачей трактора. Создана цифровая модель трансмиссии трактора, приведена ее расчетная схема, заданы исходные характеристики. С ее помощью проведено моделирование динамических процессов в коробке перемены передач трактора. Основное внимание в данной работе уде-

лено применению предлагаемой методики для расчета динамических процессов в КПП при переключениях передач под нагрузкой при прямом и реверсном включении, в том числе с одновременным использованием нескольких фрикционных муфт.

Ключевые слова: трансмиссия, численное моделирование, коробка перемены передач, трактор, динамические процессы.

The article considers the issues of digital modeling of dynamic processes in the transmissions of vehicles. The purpose of this research was to develop an algorithm for numerical mathematical modeling of dynamic processes in the transmissions of transport vehicles using modern digital software packages. The method includes a systematic approach to the study of dynamic processes during switching, based on modeling the operation of the gearbox together with the internal combustion engine (taking into account its dynamic, speed and load characteristics). The order of application of the MATLAB – Simulink, Simscape software for numerical simulation of dynamic processes is considered. Using the fundamental blocks of these applications, models of physical components are created: the internal combustion engine, friction clutches, gearboxes, elastic shafts, damping devices, and tractor power transmission control systems. A digital model of the tractor transmission is created, its design scheme is given, and the initial characteristics are set. It was used to simulate dynamic processes in the tractor gearbox. The main attention in this paper is paid to the application of the proposed method for calculating the dynamic processes in the gearbox during gear changes under load with forward and reverse switching, including the simultaneous use of several friction clutches.

Keywords: transmission, numerical simulation, gearbox, agricultural tractor, dynamic processes.

Для цитирования: Худорожков С.И., Красильников А.А. Численное моделирование динамических процессов в трансмиссии транспортных средств // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 38–45. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-38-45

Cite as: S.I. Hoodorozhkov, A.A. Krasilnikov Numerical simulation of dynamic processes in transmission of vehicle. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 1(47), pp. 38–45 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-38-45

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-46-53

Методика определения температурных полей свечи зажигания

Method for determining the temperature fields of the spark plug

к.т.н. Яхутль Д.Р.,
к.т.н. Малеев Р.А.,
к.ф.-м.н. Зуев С.М.,
Шматков Ю.М.,
Рябых Е.А.

D.R. Yakhutl', PhD in Engineering
R.A. Maleyev, PhD in Engineering
S.M. Zuyev, PhD in Physics and Mathematics
Yu.M. Shmatkov,
Ye.A. Ryabykh

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия
eope@mospolytech.ru

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

В данной статье исследованы основные факторы, определяющие тепловую характеристику свечи зажигания в диапазоне температур от 300 до 2500 градусов Кельвина. Определено оптимальное значение температуры теплового конуса. Представлена методика и алгоритмы численного моделирования теплового состояния свечи зажигания, которые позволили выполнить расчеты зависимости коэффициента теплопроводности керамических элементов свечи и удельной теплоемкости керамики изолятора от температуры. Проведен расчет рабо-

чего цикла в цилиндре двигателя. Выполнен расчет распределения температуры тепловых потоков в элементах конструкции свечи зажигания.

Проведена оценка тепловой характеристики свечи зажигания, методом численного моделирования рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания. Проведен расчет мгновенного распределения температур в теле свечи зажигания и на её поверхности. Проведены расчеты интенсивности тепловых потоков между свечей зажигания и прилегающих к ней частями рабочего тела.

Проведено моделирование рабочего цикла для различных режимов работы двигателя. Определены температурные поля свечей зажигания. Сформирован массив исходных данных для расчета температурных полей свечи зажигания. Определены зависимости температуры рабочего тела в окрестностях свечи зажигания от угла поворота коленчатого вала. Рассмотрены гармонические составляющие коэффициентов теплопередачи между рабочим телом и огневым ограждением цилиндра (коэффициент Вошни). Рассмотрены гармонические составляющие плотности теплового потока. Проведены расчеты теплового поля свечи, для различных режимов работы двигателя, с использованием метода конечных элементов. Расчет температурного поля свечи методом конечных элементов производился с использованием программ «ANSYS», «Solid Works», «Inventor» и др.

Ключевые слова: численное моделирование, свеча зажигания, тепловое состояние, тепловые характеристики, температурное поле.

This article examines the main factors that determine the thermal performance of a spark plug in the temperature range from 300 to 2500 Kelvin. The optimal value of the temperature of the heat cone was determined. A technique and algorithms for the numerical simulation of the thermal state of a spark plug are presented. These made it possible to calculate the dependence of the thermal conductivity coefficient of ceramic elements of a plug and the specific heat capacity of ceramic insulator on temperature. The calculation of the working cycle in the engine cylinder was carried out. The calculation of the temperature distribution of heat fluxes in the elements of the spark plug design was performed.

The assessment of the thermal characteristics of the spark plug is carried out by the method of numerical modeling of the operating cycle of an internal combustion engine. The calculation of the instantaneous temperature distribution in the body of the spark plug and on its surface is carried out. Calculations of the intensity of heat fluxes between the spark plugs and adjacent parts of the working fluid were carried out.

The modeling of the operating cycle for various operating modes of the engine was made. The temperature fields of the spark plugs were determined. An array of initial data for calculating the temperature fields of the spark plug was formed. Dependences of the temperature of the working fluid in the vicinity of the spark plug on the angle of rotation of the crankshaft are determined. The harmonic components of the heat transfer coefficients between the working fluid and the cylinder fire guard (Voshni coefficient) are considered. The harmonic components of the heat flux density are considered. Calculations of the heat field of the spark plug are carried out for various operating modes of the engine, using the finite element method. The calculation of the temperature field of the spark plug by the finite element method was carried out using ANSYS, SolidWorks, Inventor, etc.

Keywords: numerical simulation, spark plug, thermal state, thermal characteristics, temperature field.

Для цитирования: Яхутль Д.Р., Малеев Р.А., Зуев С.М., Шматков Ю.М., Рябых Е.А. Методика определения температурных полей свечи зажигания // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 46–53. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-46-53

Cite as: D.R. Yakhutl', R.A. Maleyev, S.M. Zuyev, YU.M. Shmatkov, YE.A. Ryabykh Method for determining the temperature fields of the spark plug. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 46–53 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-46-53

Исследование экологических характеристик дизеля при работе на активированном топливе

Investigation of the environmental characteristics of a diesel engine when operating on activated fuel

д.т.н. Плотников С.А.,
д.т.н. Карташевич А.Н.,
Мотовилова М.В.

S.A. Plotnikov, DSc in Engineering
A.N. Kartashevich, DSc in Engineering
M.V. Motovilova

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

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

Двигатель внутреннего сгорания является самым распространенным и массовым источником энергии для транспортных средств. К основным требованиям, предъявляемым к ДВС можно отнести: эффективность функционирования в составе транспортного средства, высокие эксплуатационные показатели, а также экологические параметры эмиссии отработавших газов в окружающую среду. Выполнение данных условий возможно за счет совершенствования конструкции двигателя, а также улучшения рабочего процесса дизельного двигателя при повышении качества дизельного топлива или дополнительного воздействия непосредственно на само топливо.

Одним из эффективных способов воздействия на дизельное топливо является передача ему определенного количества тепла в топливопроводе высокого давления перед форсунками. При этом у дизельного топлива изменяются физико-механические свойства, что приводит к изменению смесеобразования и процессу сгорания в цилиндре двигателя. Для интенсификации процесса сгорания был предложен способ предварительного высокотемпературного локального нагрева ДТ в системе топливоподдачи перед форсунками.

Для достижения поставленной цели было определено несколько основных направлений, в число которых входило исследование экологических показателей при интенсификации процесса сгорания.

Испытания проводились поэтапно. На первом этапе исследовалась работа ТПА и топливной форсунки при работе на активированном топливе (стендовые, лабораторные испытания). На следующем этапе исследовались показатели дизеля на основных режимах его работы.

Стендовые (лабораторные) испытания позволили сделать вывод о работоспособности и соответствии ТПА техническим требованиям завода-изготовителя и параметрам ГОСТ. Проведенные стендовые испытания доказали возможность работы дизеля на активированном топливе без ухудшения экологических показателей в отработавших газах при этом выявлены изменения токсичности и дымности отработавших газов от разных значений среднего эффективного давления.

Ключевые слова: дизель, высокоактивированное топливо, экологические показатели, дымность, токсичность, отработавшие газы.

The internal combustion engine is the most widespread source of energy for vehicles. The main requirements for an internal combustion engine include: the efficiency of functioning as part of a vehicle, high performance indicators, as well as environmental parameters of the emission of exhaust gases into the environment. The fulfillment of these conditions is possible by improving the design of the engine, as well as improving the working process of the diesel engine while increasing the quality of diesel fuel or additional impact directly on the fuel itself.

One of the most effective ways to influence diesel fuel is to transfer a certain amount of heat to it in the high-pressure fuel line in front of the injectors. At the same time, the physical and mechanical properties of diesel fuel change, which leads to a change in mixture formation and the combustion process in the engine cylinder. To intensify the combustion process, a method of preliminary high-

temperature local heating of diesel fuel in the fuel supply system in front of the injectors was proposed.

To achieve this goal, several main directions were identified, including the study of environmental indicators during the intensification of the combustion process.

The tests were carried out in stages. At the first stage, the operation of the fuel injector when operating on activated fuel (bench, laboratory tests) was investigated. At the next stage, the indicators of the diesel engine in the main modes of its operation were investigated.

Bench (laboratory) tests made it possible to draw a conclusion about the operability and compliance of the aggregate with the technical requirements of the manufacturer and the parameters of GOST. The bench tests proved the possibility of a diesel engine running on activated fuel without deteriorating environmental performance in the exhaust gases; at the same time, changes in the toxicity and smoke of the exhaust gases from different values of the average effective pressure were revealed.

Keywords: *diesel, highly activated fuel, environmental performance, smoke, toxicity, exhaust gases.*

Для цитирования: Плотников С.А., Карташевич А.Н., Мотовилова М.В. Исследование экологических характеристик дизеля при работе на активированном топливе // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 54–62. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-54-62

Cite as: S.A. Plotnikov, A.N. Kartashevich, M.V. Motovilova Investigation of the environmental characteristics of a diesel engine when operating on activated fuel. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 54–62 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-54-62

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-63-72

Современный подход к тестированию и валидации систем помощи водителю

Modern approach to testing and validation of driver assistance systems

Торопов Е.И.,
Трусов Ю.П.,
к.т.н. Вашурин А.С.,
Мошков П.С.

YE.I. Toropov,
YU.P. Trusov,
A.S. Vashurin, PhD in Engineering
P.S. Moshkov

*Нижегородский государственный
технический университет им Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, Россия
evgeny.toropov@nntu.ru*

*Nizhny Novgorod State Technical University
n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia
evgeny.toropov@nntu.ru*

Постоянно растущие требования к безопасности транспортных средств вынуждают автопроизводителей заниматься разработкой ADAS-систем (“интеллектуальных помощников”). В свою очередь, перед выпуском на рынок автомобиля, оборудованного подобными функциями, необходимо полноценно протестировать и свалидировать алгоритмы работы электронных систем в различных условиях. В настоящее время наиболее популярны методы отладки и тестирования ADAS-систем, основанные на программном (“модель и программное обеспечение в петле”) и аппаратно-программном моделировании (“оборудование в петле”), что позволяет выявлять и устранять ошибки на ранних стадиях разработки продукта, таким образом экономя денежные средства. Несмотря на огромные преимущества имитационного моделирования натурные испытания остаются основополагающим и финальным этапом перед стартом серийного производства, это обусловлено тем, что международные и отечественные стандарты в настоящее время не предусматривают сертификацию “электронных помощников” посредством проведения виртуальных тестов. В связи с этим, перед производителями

измерительного оборудования и инженерами-испытателями встает задача по разработке принципиально новой тест-установки, обеспечивающей фиксацию положения транспортных средств в динамических режимах с сантиметровой точностью, а также производить синхронизированную видеозапись. В данной статье рассказывается о подходе сотрудников НГТУ им. Р. Е. Алексеева к решению данной проблемы: проектировка принципиальной схемы и её реализация на прототипе легкого коммерческого автомобиля, оборудованного ADAS-системами. Для фиксации географических координат с сантиметровой точностью использовался прибор Racelogic Vbox 100 Hz, работающий в режиме “real-time kinematic” (RTK), синхронизированная видеозапись производилась при помощи Racelogic Video Vbox Pro, включающий в себя 4 широкоугольные камеры. Аprobация работы измерительной установки была проведена при испытаниях следующих систем: детектор мертвых зон, предупреждение о выходе из полосы и помощник поиска парковочного места. В статье представлен ряд графиков функционирования одной из систем.

Ключевые слова: ADAS, RTK, ГНСС, измерительное оборудование, испытания, валидация.

The ever-increasing demands of vehicle safety are forcing vehicle manufacturers to develop ADAS systems (intelligent assistants). However, before starting sales of vehicle equipped with such functions it is necessary to fully test and validate the algorithms for the operation of electronic systems in various conditions. Nowadays, the most popular methods for debugging and testing ADAS systems are based on model-, software- and hardware-in-the-loop simulation, which allows developers to identify and eliminate errors in the early stages of product development, thus saving money. Despite the enormous advantages of simulation, full-scale tests remain the fundamental and final stage before the start of mass production. This is due to the fact that international and Russian government standards currently don't provide the certification of electronic assistants through virtual tests. In this regard, manufacturers of measuring equipment and engineers face the task of developing a new test setup that provides fixing the GNSS-position of vehicles in dynamic modes with centimeter accuracy, as well as making synchronized video recording. This article describes the approach of the employees of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev to the solution of this problem: the design of the concept and its implementation on a light commercial vehicle with ADAS systems. To fix coordinates with centimeter accuracy we have used Racelogic Vbox 100 Hz, operating in the RTK-mode, synchronized video recording was made using Racelogic Video Vbox Pro, which includes 4 wide-angle cameras. The approbation of the measuring installation was carried out during testing the following systems: a blind spot detector, a lane departure warning and a parking space search assistant. The article presents a number of graphs of the functioning of one of the systems.

Keywords: ADAS, RTK, GNSS, measurement equipment, testing, validation.

Для цитирования: Торопов Е.И., Трусов Ю.П., Вашурин А.С., Мошков П.С. Современный подход к тестированию и валидации систем помощи водителю // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 63–72. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-63-72

Cite as: YE.I. Toropov, YU.P. Trusov, A.S. Vashurin, P.S. Moshkov Modern approach to testing and validation of driver assistance systems. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 1(47), pp. 63–72 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-63-72

Численное исследование влияния интенсивности коагуляции капель на распределение фракций полидисперсного аэрозоля

Numerical study of the effect of droplet coagulation intensity on polydisperse aerosol fraction distribution

Тукмаков Д.А.

D.A. Tukmakov

*Федеральный исследовательский центр
Казанский научный центр РАН, Казань,
Россия, tukmakovDA@imm.knc.ru*

*Federal Research Center Kazan Scientific
Center of the Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russia, tukmakovDA@imm.knc.ru*

Исследование посвящено изучению влияния интенсивности колебаний аэрозоля на распределение фракций дисперсной компоненты коагулирующего аэрозоля. В работе численно моделируются колебания аэрозоля в закрытом канале. Для описания динамики несущей среды применяется двухмерная нестационарная система уравнений Навье-Стокса для сжимаемого газа, записанная с учетом межфазного силового взаимодействия и межфазного теплообмена. Для описания динамики дисперсной фазы, для каждой ее фракции решается система уравнений, включающая в себя уравнение неразрывности для «средней плотности» фракции, уравнения сохранения пространственных составляющих импульса и уравнение сохранения тепловой энергии фракции дисперсной фазы газозвеси. Межфазное силовое взаимодействие включало в себя силу Архимеда, силу присоединённых масс и силу аэродинамического сопротивления. Также учитывался теплообмен между несущей средой – газом и каждой из фракций дисперсной фазы. Математическая модель динамики полидисперсного аэрозоля дополнялась математической моделью столкновительной коагуляции аэрозоля. Для составляющих скорости компонент смеси задавались однородные граничные условия Дирихле. Для остальных функций динамики многофазной смеси задавались однородные граничные условия Неймана. Уравнения решались явным методом Мак-Кормака со схемой нелинейной коррекции, позволяющей получить монотонное решение. В результате численных расчетов было определено, что вблизи генерирующего колебания поршня образуется область с повышенным содержанием крупнодисперсных частиц. Процесс коагуляции приводит к монотонному росту объемного содержания фракции крупнодисперсных частиц и монотонному уменьшению объемного содержания мелкодисперсных частиц. Увеличение интенсивности колебаний газа приводит к интенсификации процесса коагуляции капель аэрозоля.

Ключевые слова: многофазные среды, численное моделирование, полидисперсный аэрозоль, межфазное взаимодействие, коагуляция

The paper is devoted to the study of the effect of the intensity of aerosol fluctuations on the distribution of fractions of the dispersed component of the coagulating aerosol. Oscillations of aerosol in closed channel are numerically modeled in operation. To describe the dynamics of the carrier medium, a two-dimensional non-stationary system of Navier-Stokes equations for compressed gas is used. They are written taking into account interfacial power interaction and interfacial heat exchange. To describe the dynamics of the dispersed phase, a system of equations is solved for each of its fractions. It includes an equation of continuity for the “average density” of the fraction, equations of preservation of spatial components of the pulse and an equation of preservation of thermal energy of the fraction of the dispersed phase of the gas suspension. Phase-to-phase power interaction included Archimedes force, attached mass force, and aerodynamic drag force. Heat exchange between the carrier medium-gas and each of the fractions of the dispersed phase was also taken into account. The mathematical model of dynamics of polydisperse aerosol was supplemented by the mathematical model of collision coagulation of aerosol. For the velocity components of the mixture, uniform Dirichlet boundary conditions were set. For the remaining functions of the dynamics of the multiphase mixture, uniform Neumann boundary conditions were set. The equations were solved by the explicit McCormack method with a nonlinear correction scheme that allows to obtain a mono-

tone solution. As a result of numerical calculations, it was determined that in the vicinity of the oscillating piston, an area with an increased content of coarse particles is formed. The coagulation process results in a monotonous increase in volume content of the coarse particle fraction and a monotonous decrease in volume content of fine particles. Increasing the intensity of gas fluctuations leads to intensification of the process of coagulation of aerosol droplets.

Keywords: *multiphase media, numerical modeling, polydisperse aerosol, interfacial interaction, coagulation*

Для цитирования: Тукмаков Д.А. Численное исследование влияния интенсивности коагуляции капель на распределение фракций полидисперсного аэрозоля // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 73–80. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-73-80

Cite as: D.A. Tukmakov Numerical study of the effect of droplet coagulation intensity on polydisperse aerosol fraction distribution. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 73–80 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-73-80

DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-81-88

Топологическая оптимизация конструкции крыши легкового автомобиля с целью повышения энергоёмкости при боковом ударе

Topological optimization of the roofing structure of a passenger vehicle to increase energy intensity in a side impact

Сулегин Д.А.,
д.т.н. Зузов В.Н.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия
d_sulegin@mail.ru

D.A. Sulegin,
V.N. Zuzov, DSc in Engineering

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
d_sulegin@mail.ru

В данной статье рассматривались основные вопросы поиска оптимальных вариантов усиления крыши кузова автомобиля на базе топологической оптимизации с целью обеспечения требований пассивной безопасности при минимуме массы. Методом достижения поставленной цели являлось математическое моделирование с использованием модулей топологической оптимизации (Topology Optimization) программного комплекса ANSYS и явной динамики LS-Dуна. Для проверки эффективности усиления в качестве режима нагружения был выбран боковой удар о столб, регламентированный ЕЭК ООН 135 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении их характеристик при боковом ударе о столб». Критерием эффективности принималась энергоёмкость кузова, определяемая как отношение энергии системы к остаточной (пластической) деформации на уровне центра двери. На основании топологической оптимизации были получены два практически равнозначных по эффективности варианта расположения усиливающих элементов. Для наиболее полной оценки влияния параметров были рассмотрены несколько вариантов усиления крыши: расстановка стальных усиливающих элементов; размещение пеноалюминия под крышу; комбинация стальных элементов с заполнением их полостей пеноалюминием. По результатам моделирования была выполнена сравнительная оценка эффективности рассмотренных вариантов усиления. Наиболее эффективными оказались варианты усиления крыши балками швеллерообразного сечения и заполнения их пеной и вариант усиления крыши балками швеллерообразного сечения и диагональными перемычками в них, обуславливающие ее повышение по сравнению с оригинальной конструкцией на 20,88 и 19,94% соответственно, но при этом масса первого варианта на 42 кг меньше массы второго.

Ключевые слова: *пассивная безопасность, топологическая оптимизация, боковой*

удар, кузов, энергоёмкость, крыша.

This article considered the main issues of finding options for strengthening the roofing of the vehicle body based on topological optimization in order to meet the requirements of passive safety with a minimum mass. The method for achieving this goal was mathematical modeling using the Topology Optimization modules of the ANSYS software package and the explicit dynamics of LS-Dyna. In order to test the effectiveness of the reinforcements, the pillar side impact according to UNECE 135 “Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their performance in side impact on a pillar” was selected as the loading mode. The efficiency criterion was the energy intensity of the body, defined as the ratio of the energy of the system to the residual (plastic) deformation at the level of the center of the door. Based on the topological optimization, two variants of the arrangement of the reinforcing elements, practically equivalent in efficiency, were obtained. For the most complete assessment of the influence of the parameters, several options for strengthening the roofing were considered: placement of steel reinforcing elements; placement of foam aluminum under the roof; combination of steel elements with filling their cavities with foam aluminum. Based on the simulation results, a comparative assessment of the effectiveness of the considered amplification options was carried out. The most effective were the options for reinforcing the roofing with channel-shaped beams and filling them with foam and the option for reinforcing the roofing with channel-shaped beams and diagonal bridges in them, causing it to increase compared to the original structure by 20.88 and 19.94%, respectively, but at the same time the mass of the first option is 42 kg less than the mass of the second.

Keywords: *passive safety, topology optimization, side impact, body, energy intensity, roofing.*

Для цитирования: Сулегин Д.А., Зузов В.Н. Топологическая оптимизация конструкции крыши легкового автомобиля с целью повышения энергоёмкости при боковом ударе // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 81–88. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-81-88

Cite as: D.A. Sulegin, V.N. Zuzov Topological optimization of the roof structure of a passenger car in order to increase energy intensity in a side impact. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2021. No 1(47), pp. 81–88 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-81-88

Математическое моделирование системы контроля сопротивления изоляции высоковольтной электросети гибридного автомобиля**Mathematical modeling of a system for monitoring the insulation resistance of a high-voltage power grid of a hybrid vehicle**

Малышев А.Н.¹,
Груненко Е.А.¹,
к.т.н. Дебелов В.В.^{1,2},
д.т.н. Козловский В.Н.³,
к.т.н. Шишков А.Н.²

¹ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, Москва, Россия,

²Московский политехнический университет,
Москва, Россия,

³ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара, Россия,

andrey.malyshev@nami.ru,

vladimir.debelov@nami.ru

A.N. Malyshev¹,

YE.A. Grunenkov¹,

V V. Debelov^{1, 2}, PhD in Engineering

V.N. Kozlovskiy³, DSc in Engineering

A.N. Shishkov², PhD in Engineering

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

²Moscow Polytechnic University, Moscow,
Russia

³Samara State Technical University (Samara
Polytech), Samara, Russia

andrey.malyshev@nami.ru,

vladimir.debelov@nami.ru

В работе представлены математические модели и расчетно-аналитические зависимости, позволяющие реализовать систему контроля сопротивления изоляции высоковольтной электросети гибридного автомобиля и позволяющие сформулировать требования к физической и имитационной модели программно-аппаратного комплекса лабораторных испытаний. Целью работы является определение основных функций и характеристик системы контроля изоляции, её особенностей, принципа действия и методов контроля сопротивления изоляции, составление требований к системе имитационного моделирования. Во введении обоснована важность контроля сопротивления изоляции и приводятся ссылки на стандарты, регламентирующие требования к измерению и определению неисправности электросети. Представлена структурная схема электропитания автомобиля и роль системы контроля сопротивления изоляции в этой схеме, поясняются особенности контроля изоляции. Рассматривается принцип действия системы контроля изоляции и применение наиболее распространенных схем, приводятся расчетные зависимости для каждой из представленных схем, позволяющие вычислить сопротивление изоляции. Описан порядок проведения измерений сопротивления изоляции согласно стандарта ISO и приводятся соответствующие уравнения. Для представленной схемы приводится график, поясняющий принцип работы системы, когда при замыкании одного из ключей происходит изменение напряжения на измерительном резисторе при нормальном состоянии изоляции положительной и отрицательной шины электропитания высоковольтной системы. В выводах дается обобщение представленной математической модели и формулируются требования к программно-аппаратному комплексу, который позволяет проводить имитационное и математическое моделирование электрических систем и их компонентов в различных режимах работы. Поясняются особенности исполнения программно-аппаратного комплекса, позволяющего моделировать изменение сопротивления изоляции и неисправности питающей электросети высокого напряжения для автомобиля с гибридной силовой установкой.

Ключевые слова: система электропитания, сопротивление изоляции, программно-аппаратный комплекс, гибридная силовая установка

The paper presents mathematical models and computational and analytical dependences, which make it possible to implement a system for monitoring the insulation resistance of a high-voltage power grid of a hybrid vehicle and make it possible to formulate requirements for the physical and simulation model of the software and hardware complex of laboratory tests. The purpose of the

work is to determine the main functions and characteristics of the insulation monitoring system, its features, the principle of operation and methods of monitoring the insulation resistance, drawing up requirements for the simulation system. The introduction justifies the importance of monitoring insulation resistance and provides references to standards that regulate the requirements for the measurement and determination of mains failure. The block diagram of the vehicle power supply and the role of the insulation resistance monitoring system in this diagram are presented, the features of insulation monitoring are explained. The principle of operation of the insulation monitoring system and the use of the most common schemes are considered. The calculated dependencies for each of the presented schemes are given. These allow calculating the insulation resistance. The procedure for measuring the insulation resistance according to the ISO standard is described and the corresponding equations are given. For the presented circuit, a graph that explains the principle of the system's operation, when one of the keys is closed, the voltage across the measuring resistor changes with the normal insulation state of the positive and negative power supply bus of the high-voltage system is given. The conclusions provide a generalization of the presented mathematical model and formulate the requirements for the software and hardware complex, which allows simulation and mathematical modeling of electrical systems and their components in various operating modes. The paper explains the features of the software and hardware complex that allows to simulate changes in the insulation resistance and faults of the high-voltage power supply network for a vehicle with a hybrid power plant.

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

Для цитирования: Малышев А.Н., Груненко Е.А., Дебелов В.В., Козловский В.Н., Шишков А.Н. Математическое моделирование системы контроля сопротивления изоляции высоковольтной электросети гибридного автомобиля // *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2021. № 1(47). С. 89–98. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-89-98

Cite as: A.N. Malyshev, YE.A. Grunenkov, V.V. Debelov, V.N. Kozlovskiy, A.N. Shishkov Mathematical modeling of a system for monitoring the insulation resistance of a high-voltage power grid of a hybrid vehicle. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 1(47), pp. 89–98 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-89-98