

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тульский государственный университет»

ISSN 2071-6168

*65 лет Победы
в Великой Отечественной войне*



**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 2

Часть 1

Издательство ТулГУ
Тула 2010

УДК 621.86/87

Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010.
Ч. 1. 232 с.

Рассматриваются научно-технические проблемы в области машиностроения и машиноведения, новых технологий и оборудования для обработки материалов резанием, управления качеством, математического моделирования технических систем.

Материалы предназначены для научных работников, преподавателей вузов, студентов и аспирантов, специализирующихся в проблематике технических наук.

Редакционный совет

М.В. ГРЯЗЕВ – председатель, **В.Д. КУХАРЬ** – зам. председателя,
В.В. ПРЕЙС – главный редактор, **В.А. АЛФЕРОВ**, **И.А. БАГАНИНА**,
О.И. БОРИСКИН, **В.И. ИВАНОВ**, **В.С. КАРПОВ**, **Р.А. КОВАЛЁВ**,
А.Н. ЧУКОВ, **Е.А. ФЕДОРОВА**, **А.А. ХАДАРЦЕВ**

Редакционная коллегия

О.И. Борискин (отв. редактор), **В.С. Карпов** (зам. отв. редактора),
Р.А. Ковалев (зам. отв. редактора), **А.Н. Чуков** (зам. отв. редактора),
В.Б. Морозов (отв. секретарь), **А.Е. Гвоздев**, **А.Н. Иноземцев**, **А.Б. Копылов**,
Е.А. Макарецкий, **Е.П. Поляков**, **В.В. Прейс**, **П.Г. Сидоров**, **В.М. Степанов**,
А.А. Трещёв, **С.С. Яковлев**, **А.С. Ямников**

*Подписной индекс 27851
по Объединённому каталогу «Пресса России»*

«Известия ТулГУ» входят в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора наук

© Авторы научных статей, 2010
© Издательство ТулГУ, 2010

цифровых электроприводов, а также измерительных устройств физических величин (ускорений и угловых скоростей) компенсационного типа [1,4].

Список литературы

1. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов по критериям точности, быстродействию, энергосбережению / В.В. Сурков [и др.]. Тула: ТулГУ, 2005. 300 с.
2. Майоров С.А., Новиков Г.И. Принципы организации цифровых машин. Л.: Машиностроение, 1974. 386 с.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 360 с.
4. Устройство для измерения ускорений: пат. № 2189046 С1 Рос. Федерация; опубл. 10.09.2002. Бюл. № 25.

V. Kuleshov

Mathematical model of transformation of an analog signal in duration in the electric drive

The mathematical model of transformation of an analog signal in duration is described. The obtained analytical associations can be used at development of numeral channels of an information handling in the electric drive and devices of compensatory type for measurement of physical sizes (accelerations and angular speeds).

Keywords: comparator, duration, aperture error, the digital code.

Получено 07.04.10

УДК 629.113

А.В. Вахрушев, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. отделом,

(3412) 21-45-83, vakhrushev-a@yandex.ru,

С.Н. Зыков, канд. техн. наук, докторант,

(3412) 44-44-21, zykov-sergei@yandex.ru

(Россия, Ижевск, Институт прикладной механики УрО РАН)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ КАК ПОЛИМАТЕРИАЛЬНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ

Представлены основы математического моделирования, выполняемого в рамках работ по проектированию конструкции автомобиля и его отдельных элементов. Описаны основные этапы комплексного многоступенчатого математического моделирования и решаемые при этом задачи.

Ключевые слова: математическое моделирование, конструкция кузова автомобиля, проектирование, полиматериальная многокомпонентная структура.

Кузов современного легкового автомобиля – сложное высокотехнологичное изделие многофункционального назначения. Процесс его проектирования является многоуровневой задачей нахождения приемлемого

решения при соблюдении множества критериев, обусловленных требованиями прочности и надежности, конструктивными особенностями, технологией изготовления, нормативными требованиями, стилистикой изделия и т.д. [10, 12]. Успешное решение указанной комплексной задачи, по мнению авторов, возможно только при использовании современных методов многоуровневого математического моделирования [2, 6, 11], опирающегося на формализованное физико-математическое описание решаемых задач, в гармоничном сочетании с методами эвристического проектирования [9]. Указанная проблема весьма актуальна в связи с усложнением конструкций автомобиля и все более широким использованием современных композиционных материалов, в том числе наноструктурных.

С физико-математической точки зрения автомобильный кузов можно рассмотреть как полиматериальную многокомпонентную структуру, каждый элемент которой несет на себе комбинированную функциональную нагрузку, обусловленную рядом проектных критериев и требований, и которая может иметь четкое математическое описание. Многоуровневое математическое моделирование компонентов в комплексе с методикой использования разработанных математических моделей в проектной деятельности ставят своей целью проводить всестороннюю и обоснованную оптимизацию конструкции кузова автомобиля.

Процесс оптимизации отдельных компонентов, как и всей конструкции кузова в целом, включает в себя решение набора взаимосвязанных формализованных и неформализованных задач (рис. 1), в зависимости от выбранных критериев оптимизации конструкции.

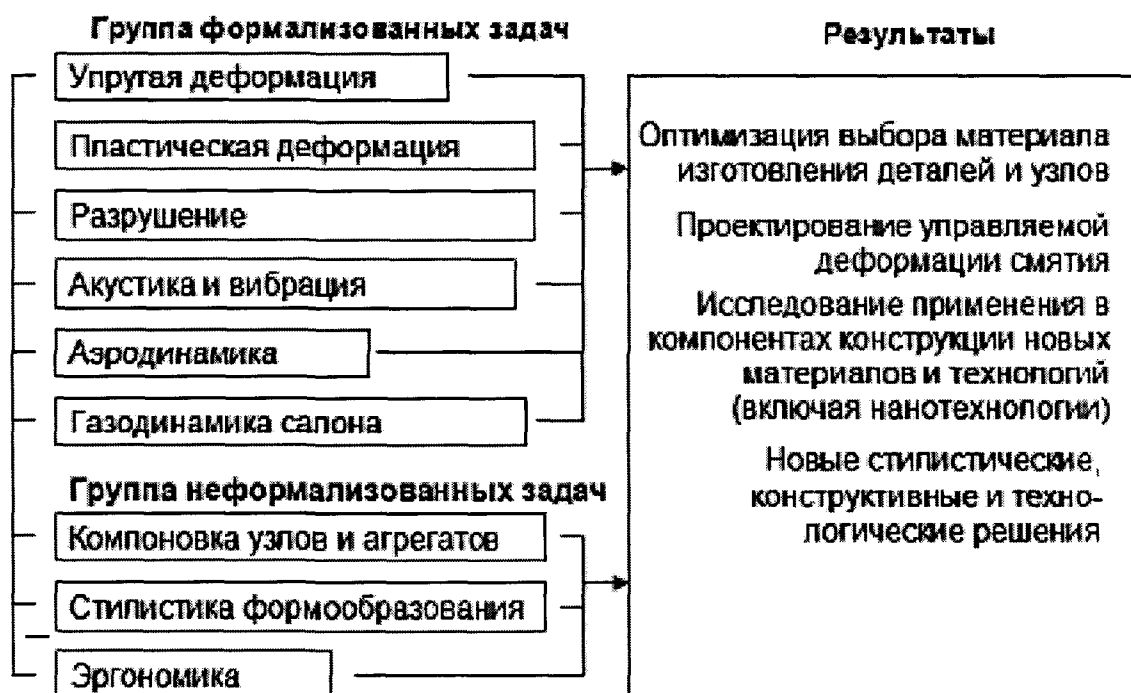


Рис. 1. Набор задач проектирования кузова

Формализованные задачи – задачи конструкторской и технологической проработки изделия на основе инженерных расчетов. В качестве начальных и граничных условий при расчетах принимают различного рода характеристики, базирующиеся на результатах решения неформализованных задач, на нормативных законодательных актах относительно проектируемого типа изделия, а также на технологических возможностях планируемого завода-изготовителя.

Неформализованные задачи – это, в первую очередь, поисковые задачи дизайна конструкции, проработки компоновочных решений, экстерьера, интерьера и т.д. Эти задачи являются составными частями процесса формирования дизайн-проекта как всего автомобиля (в качестве законченного изделия), так и его отдельных компонентов, каким является кузов. При решении неформализованных задач дизайнер-проектировщик опирается в основном на собственную квалификацию, эстетические требования к изделию и нормативные акты, которые возможно учитывать на этапе дизайн-проектирования.

Беря за основу при проектировании кузова необходимость совместного решения набора указанных выше неформализованных и формализованных задач, можно предложить следующую примерную блочную структуру многоуровневого математического моделирования процесса проектирования кузова (рис. 2). Состав блоков может варьироваться в зависимости от изменения набора формализованных и неформализованных задач.

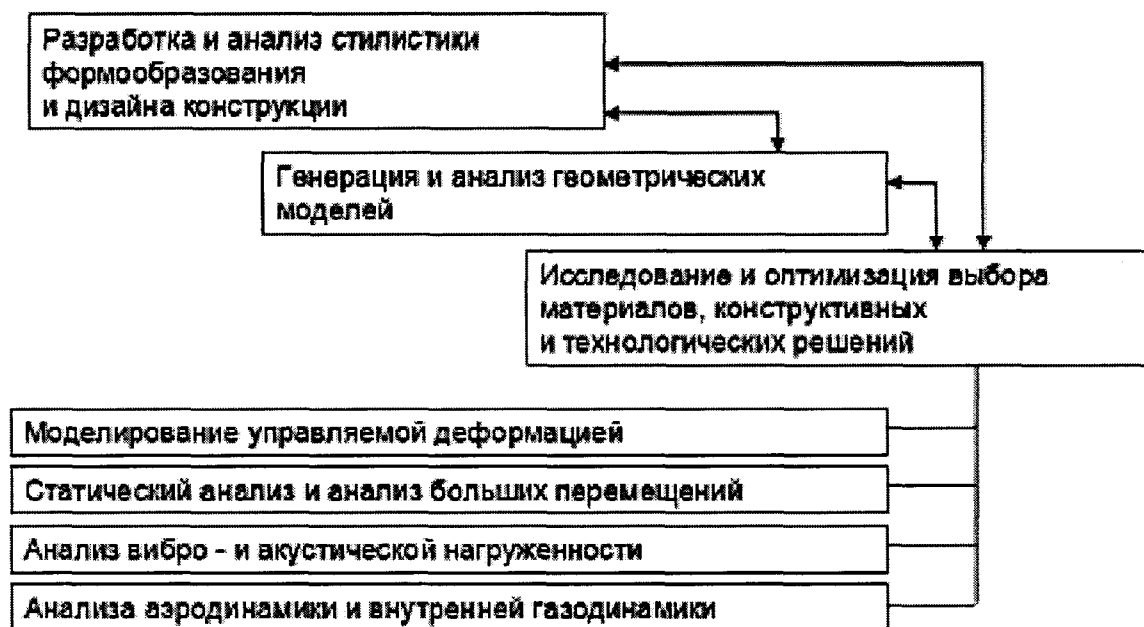


Рис. 2. Блочная структура математического моделирования при проектировании автомобильного кузова

Блок разработки и анализа стилистики формообразования и дизайна конструкции. На этапе дизайн-проектирования проводятся поисковые работы общих геометрических характеристик автомобиля в целом и кузова как его основного формообразующего элемента. При этом наряду с вопросами обеспечения эстетических характеристик решаются первичные задачи по эргономике, компоновке, обеспечению соответствия нормативным требованиям и т.д. Конструкция в процессе проектирования может многократно возвращаться на этот этап и дорабатываться для нахождения компромиссных решений сопряженных задач инженерной и технологической проработки конструкции. На этом этапе выполняются двухмерное геометрическое моделирование (растровое и векторное) и трехмерное моделирование в электронной среде различных программных систем.

Блок генерации и анализа электронных геометрических моделей. Одним из математических представлений модели геометрии конструкции в соответствии с ГОСТ 2.052 «Электронная модель изделия» является электронная геометрическая модель [8]. Задачи построения электронной геометрической модели элементов конструкции в настоящее время решают с использованием инструментальных средств электронного геометрического моделирования различных программных систем, таких, как CATIA, UNIGRAPHICS и т.д., так называемых CAD-систем. Процесс моделирования в этих системах осуществляется посредством блока программ, который носит обобщенное название «графическое ядро». Создание таких специализированных программных продуктов, как «графические ядра», является чрезвычайно трудоемкой задачей, и над их созданием трудятся многочисленные коллективы специалистов на протяжении многих лет.

Таким образом, математическое моделирование геометрии элементов конструкции автомобильного кузова в современных условиях сводится к их трехмерному электронному геометрическому моделированию. Именно представление кузова как набора математических моделей элементов и определенной математической модели их взаимного расположения в сумме с математическими моделями областей сопряжения элементов и набором физико-механических свойств материалов изготовления различных элементов дает право определить кузов в качестве полиматериальной многокомпонентной структуры.

Блок исследования и оптимизации выбора материалов, конструктивных и технологических решений. Для моделирования конструкции автомобильного кузова в качестве полиматериальной многокомпонентной структуры необходимо создать информационную базу данных физико-механических свойств конструкционных материалов и технологий их использования, а также обеспечить своевременное обновление хранящейся в ней информации. Требования, предъявляемые к проектируемой конструкции кузова (жесткость, легкость, низкая цена изготовления и т.д.),

диктуют критерии выбора в базе данных необходимой информации о материалах и технологиях. Это трудоемкий процесс, требующий специализированного математического моделирования.

Блок моделирования управляемой деформацией. Одной из функций автомобильного кузова является обеспечение пассивной безопасности водителя и пассажиров. Требования по пассивной безопасности при столкновении с препятствиями оговорены в международных правилах ЕЭК ООН № 94, 95 [7].

В случае возникновения аварийных ситуаций автомобильный кузов при значительных деформациях конструктивно должен обеспечить сохранение необходимого жизненного пространства водителю и пассажирам, а также снизить замедляющие ускорения в области пассажирского салона как минимум ниже критически допустимых значений [5, 10]. Такая комбинированная задача, решаемая без применения дополнительных защитных устройств безопасности (подушки безопасности и т.д.), имеет единственное решение – проектирование управляемой деформации полиматериальной многокомпонентной структуры кузова. Эта работа должна базироваться на обоснованных теоретических выкладках, электронном геометрическом моделировании разных вариантов *структуры*, а также моделировании процесса ее деформации.

Блоки статического анализа и анализа больших перемещений, анализа акустической и вибронагруженности, аэродинамики и внутренней газодинамики салона. Современные системы специализированного программного обеспечения инженерного анализа (ANSYS, NASTRAN, LS-DYNA, STAR-CD и т.д.), в основе которых лежат численные методы исследования [4], позволяют на базе электронной геометрической модели проводить на высоком качественном уровне автоматизированные расчеты различных характеристик кузова (прочностных [3], виброакустических, газодинамических [1] и т.д.).

Так, в области прочностных расчетов конструкции в программных комплексах инженерного анализа заложено численное решение различных вариаций общего уравнения движения механической системы [12], которое в матричной форме имеет вид

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F(t),$$

где M – матрица масс; C – матрица коэффициентов демпфирования (сопротивлений); K – матрица коэффициентов жесткостей звеньев; $\ddot{u}$ – вектор узловых ускорений; $\dot{u}$ – вектор узловых скоростей; u – вектор узловых перемещений; $F(t)$ – вектор нагрузок; t – время.

Задачи математического моделирования при этом существенно упрощаются и заключаются в теоретическом обосновании набора начальных и граничных условий, которые необходимо применять при проведении численных расчетов. Несмотря на кажущуюся простоту этой работы, факт того, что кузов является полиматериальной многокомпонентной структурой

рой со сложной сочлененной пространственной геометрией, делает задачу значительной по объему с необходимостью введения множества теоретически обоснованных допущений и ограничений.

Рассмотрим пример расчета управляемой деформации левой передней части легкового автомобиля стандартной компоновки (рис. 3).

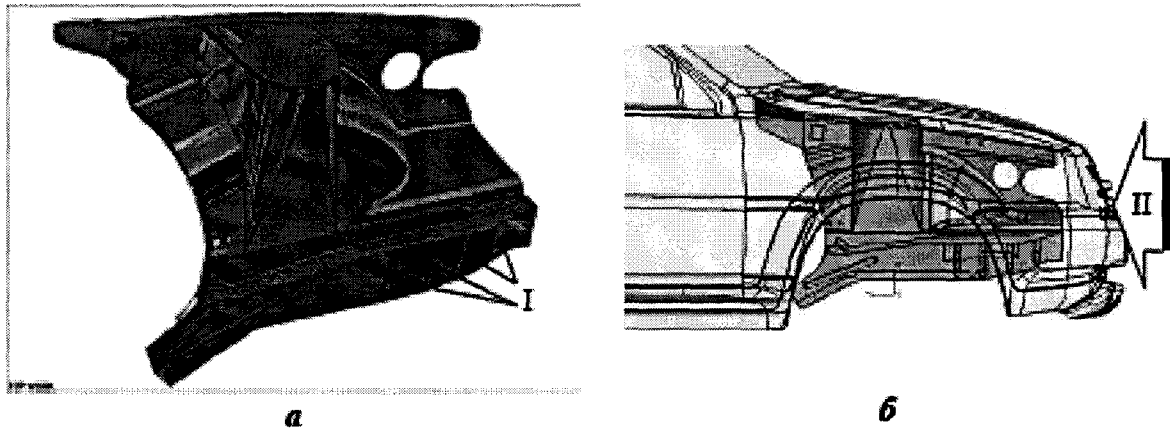


Рис. 3. Левая передняя часть кузова легкового автомобиля:
а – электронная геометрическая модель; **б** – расположение
в конструкции автомобиля; **И** – элементы управления деформацией;
II – направление силового воздействия при ударе

На показанной электронной геометрической модели стрелками отмечены элементы управления деформацией, которые при фронтальных нагрузках провоцируют деформацию конструкции по математическому закону, заложенному в процессе проектирования (рис. 4) [10].

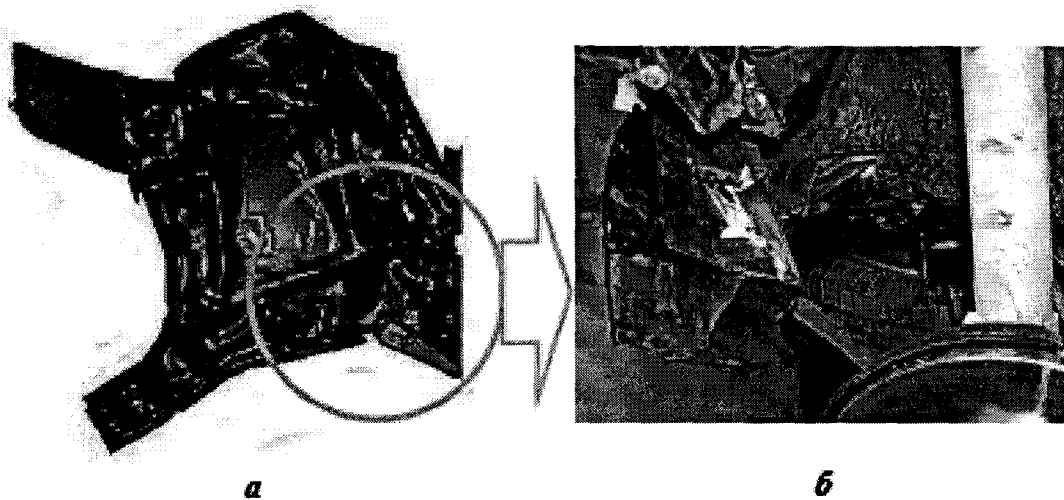


Рис. 4. Деформация левой передней части кузова (низ):
а – результаты деформации при предварительном численном
эксперименте; **б** – результаты натурных испытаний
(изображение повернуто)

В представленном примере наличие элементов управления деформацией, расположенных на лонжероне, приводит к изменению характеристик пассивной безопасности кузова в целом [7]. Одной из таких характеристик является график замедляющего ускорения левого порога при столкновении автомобиля с препятствием (рис. 5).

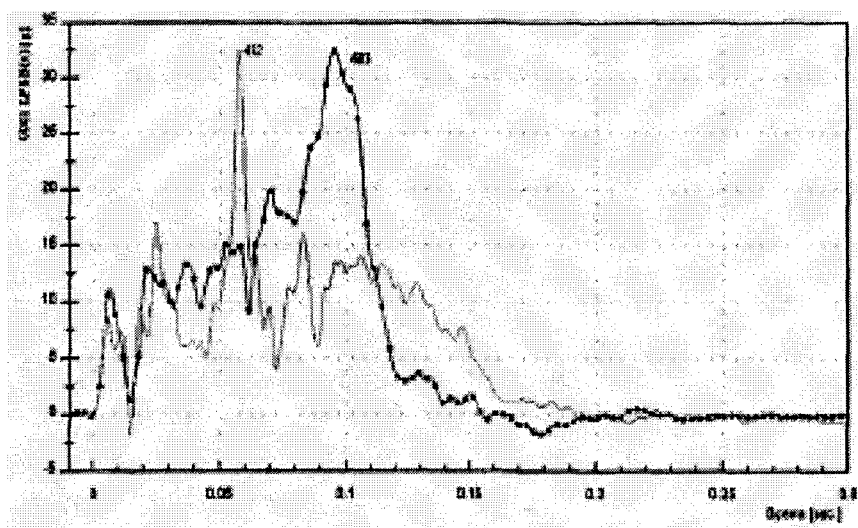


Рис. 5. Замедление левого порога: 432 – вариант кузова без элементов управления деформацией; 683 – вариант кузова с элементами управления деформацией

В случае применения элементов управления деформациями пик замедляющего ускорения сдвигается в большую сторону (от 0,06 до 0,1 с), а сам график принимает более монотонный характер. Это является показателями большего по значению и лучшего по структуре накопления энергопоглощения деформации передней части кузова автомобиля. Приведенные данные получены по результатам испытаний автомобиля ИЖ-2126-20 на соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН № 94, проведенным на ОАО «АВТОВАЗ».

Для более эффективного управления деформацией необходимо воздействовать в этом процессе не только лонжерон, но и можно больше элементов конструкции кузова. При этом следует не ограничиваться исключительно модификацией их геометрии, а проводить также исследования в области варьирования материалами, из которых они изготовлены. При решении этой задачи кузов снова выступает в качестве полиматериальной многокомпонентной структуры, где необходимы ее точное физико-математическое описание и описание процессов ее деформации.

Предложенный принцип математического моделирования при проектировании автомобильного кузова служит основой для формирования проблемно-ориентированного программного комплекса, нацеленного на задачу оптимизации проектных работ. Состав блоков математического мо-

делирования указывает на то, что программный комплекс должен состоять как из набора уже разработанных программных средств (для задач геометрического моделирования и инженерного анализа), так и вновь разработанных программных продуктов (для задач проектирования управляемой деформации и формирования начальных и граничных условий при решении задач численного анализа и т.д.).

На основе связанной многоуровневой математической модели проектирования конструкции автомобиля (и, в частности, автомобильного кузова), и созданного на ее основе сбалансированного по заданным критериям проблемно-ориентированного программного комплекса можно добиться серьезной оптимизации процесса проектирования современных автомобилей. В условиях быстроменяющегося мира, растущих технологических возможностей проектирования и производства сложных технических устройств (каковым является автомобиль) вопросы создания модульного проблемно-ориентированного программного комплекса с гибко изменяющимся проектным функционалом моделирования, основанным на четком комплексном математическом моделировании решаемых задач, актуальны и требуют всесторонней проработки.

Список литературы

1. Benderskiy B.I., Matveev D.V., Zykov S.N. Numerical simulation of three dimensional air flow of the heating system ventilating system of a passenger car// XII International Confererce of aerophysical research. Novosibirsk: Publishing House «Nonparel», 2004. С. 42-45.
2. Vakhrouchev, A.V. "Modelling of the nanosystems formation by the molecular dynamics, mesodynamics and continuum mechanics methods", Multidiscipline Modeling in Material and Structures. 2009. Vol. 5. Issue 2. 2009. P. 99 – 118.
3. Zykov S.N., Filkin N.M. Numerical Analysis of Deforming the L.H.Part of Izh-2126 Car Engine Compartment under Frontal Crushing Loads // 21st CAD-FEM Users' Meeting 2003 International Congress on FEM Technology. Potsdam (Germany), 2003. Part 4.1.4. P. 1 – 4.
4. Басов К.А. CATIA и ANSYS. Твердотельное моделирование. М.: ДМК Пресс, 2009. 240 с.
5. Борзыкин А.Я., Лункин И.А., Богданов В.В. Энергопоглощающая способность лонжеронов автомобиля при фронтальном ударе // Автомобильная промышленность. 1995. № 2. С. 37 – 40.
6. Вахрушев А.В. Теоретические основы применения нанотехнологий в тепловых двигательных установках. Ижевск: Изд-во ИПМ УрО РАН, 2008. 212 с.
7. ГОСТ Р 41.94-99. Правила ЕЭК ООН № 94. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в

отношении защиты водителя и пассажиров в случае лобового столкновения. М.: Изд-во стандартов, 1999. 60 с.

8. ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. М.: Изд-во стандартов, 2006. 45 с.

9. Джонс Дж. К. Методы проектирования: пер. с англ., 2-е изд., доп. М.: Мир, 1986. 326 с.

10. Зыков С.Н., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Напряженно-деформируемое состояние автомобильного кузова. Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотичная динамика», 2008. 124 с.

11. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. 320 с.

12. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Зыков С.Н. Инженерный анализ конструкции автомобиля на прочность: учеб. пособие. Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотичная динамика», 2008. 124 с.

A. Vakhrushev, S. Zykov

Mathematical modeling of car body as polymaterial multicomponent structure

The principles of mathematical modeling carried out within the framework of automobile and its components design engineering are submitted. Milestones of complex multiphase mathematical modeling and problems to be solved herewith are described.

Keywords: mathematical modeling, car body design, engineering, polymaterial multicomponent structure.

Получено 07.04.10

УДК 519.21

Е.А. Ядыкин, д-р техн. наук, проф., начальник Управления ПКВК,
(4872)33-55-05, jadykin@tsu.tula.ru (Россия, Тула, ТулГУ)

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ЛИНЕЙНОЙ НЕСЛУЧАЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ ДВУХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Строго доказываются условия, при которых технологическая операция может быть представлена как линейная неслучайная функция двух случайных величин.

Ключевые слова: технологическая операция, неслучайная функция, линейность, случайные величины.

При обработке металлов давлением довольно часто встречаются технологические операции, в ходе которых преобразуется один и тот же параметр, например, параметр «разностенность» при выполнении технологических операций вытяжки стаканчика. При этом из статистических наблюдений известно, что законы распределения этого параметра на входе