

2. Abakumov A.M., Miatov G.N. Control algorithms for active vibration isolation systems subject to random disturbance // Journal of Sound and Vibration. – 2006. № 289. – Pp. 889 – 907.
3. Prabakar R.S., Sujatha S. Narayanan Optimal semi-active preview control response of a half car vehicle model with magnetorheological damper // Journal of Sound and Vibration. 2009. № 326. 2009. – Pp. 400 – 420.
4. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синёв А.В., Мугин О.О. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.
5. Delphi MagneRide // Сайт «MOTOR-TALK - Europas größte Auto- und Motor-Community!». URL: <http://www.motor-1k.de/forum/aktion/Attachment.html?attachmentId=359392>.
6. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
7. Абакумов А.М., Мятлов Г.Н., Широков С.В., Рандин Д.Г. Исследование динамических воздействий на блоки сложных изделий при морской транспортировке // Вестник МГТУ Станкин. – 2012. № 4 (23). – С. 56 – 59.

Компьютерное моделирование технологических процессов сборки и отработки электрооборудования наземных транспортных средств

Аббасов А.Э., к.т.н. Аббасов Э.М.

Финансово-технологическая академия, Университет машиностроения
8 (909) 969-80-59, alex1smo@mail.ru, 8 (903) 786-58-87, abbapost@rambler.ru

Аннотация. В статье рассмотрены подходы для отработки и сборки электрооборудования наземных транспортных средств; разработана методика визуализации исходных данных, результатов моделирования устройств и их последующего конвертирования в специализированный расчетный пакет для оптимизации параметров по заданному критерию, а также обнаружения технологических несоответствий на ранней стадии в процессе моделирования.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, электропривод клапана рециркуляции, оптимизация параметров.

При проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по созданию и модернизации электрооборудования автомобиля, а также разработке новых изделий и материалов для автомобилестроения на производстве и в профильных учебных заведениях большое значение имеют технологические процессы их отработки и сборки с помощью современных компьютерных технологий [1, 2]. Актуально сокращение процесса отработки и сборки оборудования с помощью компьютерных технологий визуализации, аддитивных технологий создания цифровой модели с помощью 3D-сканирования и макетирования с помощью 3D-печати [3], специализированных программных сред для расчета оптимальных по выбранному критерию параметров изделий [4, 5]. Проведенный анализ представленных вариантов технологического процесса отработки и сборки технических изделий показал, что качество процессов не соответствует показателям или по точности результата, или по трудоемкости и затратам материальных и энергетических ресурсов [6]. Необходимы этапы информационного и математического моделирования, позволяющие при минимальных затратах рассмотреть показатели и различные режимы работы, обеспечение оптимального сочетания высокой точности размеров проектируемого электрооборудования и минимальных затрат в процессе их сборки, обнаружение технологических несоответствий на ранней стадии в процессе моделирования.

Трехмерность дает возможность в некоторых случаях значительно сократить линейные размеры изделия, упростить его конструкцию и сборку. Возможен полный переход на новые стандарты конструкторской документации (КД) с использованием методов визуализации с применением стандартных 3D-образов [4]. В настоящее время на многих производственных предприятиях России КД ведется на основе методологии нисходящего проектирования с за-

пуском в производство документов в виде аннотированных трехмерных моделей. Трехмерные модели применяются не только для обнаружения технологических несоответствий и недостатков конструкции, но и для создания чертежных видов. Разработка конструкторской документации проводится параллельно с технологическим процессом сборки изделия. Для определения времени проведения этих работ и возможного распараллеливания времени между различными операциями составляется сквозной график, который реализуется в виде диаграммы Ганта, в табличной форме или с помощью инструментария Workflow в PDM-системе. Для разработки общей модели данных и процессов для всех сфер деятельности и технологических процессов предприятия используется программный пакет ERP-система, осуществляющий планирование ресурсов предприятия (от англ. Enterprise Resource Planning).

Для отработки и сборки сложных изделий проанализируем два подхода:

- 1) использование для макетно-конструкторских испытаний аддитивных технологий получения 3D-макетов, распечатанных с помощью 3D-принтера, и 3D-образов, полученных с помощью 3D-сканера [3];
- 2) использование методов оптимизации параметров моделируемого устройства с помощью передачи данных о геометрии устройства из трехмерной среды в специализированный расчетный пакет [4, 5].

При использовании этих подходов ценным становится не владение самой деталью (изделием), а владение его информационной моделью (цифровой информацией), а также возможность воспроизвести эту цифровую информацию либо в виртуальной среде, либо напечатать с помощью аддитивных технологий. Необходимо определить, какой из описанных подходов является наиболее целесообразным для определения ошибок и технологических несоответствий на этапе проектирования и разработки технологического процесса сборки изделий.

С помощью аддитивных технологий 3D-печати осуществляется создание цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы. В основе аддитивных технологий – цифровые технологии, с помощью которых осуществляется цифровое описание изделия и строится компьютерная трехмерная модель. Эти объекты устраняют ограничения «псевдотрехмерного рисунка», созданного с помощью компьютерных технологий трехмерного моделирования. От традиционных методов механообработки изделия аддитивные технологии отличаются тем, что вместо «вычитания» материала из массива заготовки изделия они используют метод получения изделия «добавлением» (аддитивный метод) и метод прототипированием (метод послойного синтеза). Это методы синтезирования деталей и конструкций – прототипов, опытных образцов, серийных изделий. Основное предназначение аддитивных технологий – создание прототипа изделия, который можно использовать в качестве опытного образца для отработки изделия на этапе проектирования и оптимизации его параметров.

Раньше устранение ошибок и недочетов при проектировании сложных сборных систем, состоящих из агрегатов и устройств различного назначения, связанных между собой сложной геометрической компоновкой (например, ракетные двигатели и связанные с ними системы) осуществлялось при сборке макетов изделий в металле. Но это может приводить к повторному изготовлению деталей и сборочных единиц, изменивших свою геометрию в процессе увязки компоновки изделия. Способ замены конструкторских металлических макетов макетами, изготовленными с помощью технологии 3D печати в пластике [3] позволяет сократить затраты на разработку в 10 – 15 раз и ускорить процесс изготовления макетов. Макет, изготовленный с помощью 3D-принтера в пластике, выполняет те же функции, что и обычный металлический конструкторский макет: проверка собираемости, отработка технологии сборки, поиск ошибок и неточностей в конструкторской документации.

Для достаточно простых автомобильных деталей (шестеренки для регулировки положения сидения, защелки шторки багажника, корпуса для боковых зеркал, крышки омывателей фар на бампере, корпуса фар под модульную оптику и т.д.) нет проблем изготовить ма-

кеты с помощью 3D-редакторов SketchUP, Blender, Open Source. Но для организации технологического процесса сборки и отработки оборудования необходимо учитывать, что сложная модель состоит из различных сборочных единиц (клапанов, регуляторов), элементов силовой схемы (кронштейнов, опор) и крепежа (болтов, гаек). Если в модели присутствуют трубопроводы для соединения отдельных узлов и агрегатов, то соединить концевые элементы трубопроводов с ответными элементами трубопроводов с использованием 3D-пластика затруднительно. Лучше заменить их металлическими трубами, но при этом надо уменьшить массогабаритные размеры этих труб (например, толщину трубы) для того, чтобы снизить нагрузку на несущие элементы макета, выполненные из пластика [3]. В связи с трудоемкостью выполнения 3D моделей крепежа с «прорисованной» резьбой также предпочтительнее использовать металлический крепеж.

При прототипировании электропривода невозможно обеспечить нужную плотность укладки обмотки электродвигателя.

Таким образом, аддитивная технология 3D-печати на современном этапе развития не позволяет создать на 3D-принтере прототипы сложных технических устройств, в составе которых имеются резьбовые соединения, трубопроводы малого сечения, электрические обмотки. Упрощение создания цифровой модели с помощью 3D-сканирования также невозможно для вышеперечисленных изделий.

При использовании информационных технологий визуализации с применением стандартных 3D-образов точность технологических процессов проектирования, отработки и сборки осуществляется с помощью передачи данных о геометрии устройства из трехмерной среды в специализированный расчетный пакет. Данный метод позволяет не только обнаружить технологические несоответствия на ранней стадии в процессе моделирования, но и улучшить массогабаритные характеристики, рассчитать характеристики моделируемого устройства в соответствии с заданным критерием оптимизации [5 – 7].

Построение трехмерных компьютерных моделей устройств в сборке позволяет анализировать различные варианты компоновки элементов устройств в зависимости от системных свойств и связей, а также выбирать параметры устройств и управляющие характеристики.

Применению технологий 3D-моделирования для проведения проектных работ посвящены труды Шипунова А., Сазанова Е., Pfeifer G., Robinson A. При использовании трехмерных компьютерных геометрических моделей, позволяющих сократить время разработки, задачи моделирования ограничены созданием презентационного графического материала для заказчика, анимационных роликов и отчетов, визуализации технологического процесса сборки устройств (изделий). Техническим результатом использования программ трехмерного моделирования в процессе проектирования сложного оборудования должно быть не только сокращение временных и вычислительных ресурсов, затрачиваемых на проектирование, но также возможность выбора параметров материала оборудования для улучшения его технических характеристик, возможность оптимизации параметров, определяющих эффективность функционирования устройства [7].

Трехмерные компьютерные модели можно применять при обучении в среднеспециальных и высших учебных заведениях при замене лабораторий с реальным физическим оборудованием виртуальными лабораториями. Введение эффектов анимации в трехмерной среде моделирования позволит использовать трехмерные компьютерные модели в качестве исходных данных для разработки интерактивных электронных технических руководств по технологическим процессам отработки и сборки изделия.

Рассмотрим возможность выбора параметров материала оборудования для улучшения его технических характеристик и оптимизации параметров на примере электрооборудования системы рециркуляции отработавших газов автомобиля. Задачи повышения эффективности системы рециркуляции связаны с минимизацией вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу автомобильным транспортом (до 60% от всех вредных веществ).

В настоящее время эксплуатируются сложные многоуровневые системы рециркуляции, управляемые от специального блока управления, они могут иметь различный набор

устройств, но во всех системах присутствует клапан рециркуляции, влияющий на устойчивую работу двигателя автомобиля. Разрабатываются системы снижения токсичности без клапана рециркуляции, с регулированием фаз газораспределения, но массового применения они не получили.

Был выбран электромагнитный привод для открытия/закрытия клапана рециркуляции, так как он проще и также имеет несколько магнитных полюсов и два ярма со статорными полюсами. Обоснование конструкции клапана рециркуляции осуществляется по результатам расчета его параметров, алгоритм расчета приведен на рисунке 1. При расчете обмотки электропривода учитываются геометрические размеры обмотки электропривода, толщина каркаса катушки, напряжение в обмотке, намагничивающая сила.

Существующие методы расчета и моделирования устройств системы рециркуляции в различных компьютерных средах трудоемки. Необходимо разработать такие методы и алгоритмы моделирования с использованием трехмерных сред, которые обеспечивают не только сокращение временных и вычислительных ресурсов, затрачиваемых на проектирование, но и возможность оптимизации параметров клапана рециркуляции. Полученные при обосновании конструкции электропривода результаты используются для расчета зависимости угла поворота ротора от тока управления, на которой и будет основано управление открытием клапана для минимизации потерь мощности двигателя.

Проведено моделирование основного элемента системы рециркуляции автомобиля – электропривода клапана рециркуляции. Электропривод, сборка которого с электромеханическим клапаном в среде Компас-3D приведена на рисунке 2, с помощью вилки поворачивает водило, которое скользит по прорезам в обойме, и в результате клапан имеет поступательное движение.

В среде 3D-Компас задана только форма объекта, осуществлена компоновка элементов устройств, а в среде Maxwell (2D, 3D) заданы параметры материалов, направления магнитных линий, рассчитываются параметры шагового электродвигателя клапана рециркуляции.

Экономический эффект от мероприятия по снижению массы проектируемого изделия (шагового электродвигателя с магнитопроводом) определяется по формуле:

$$Э_{\text{мат}} = (Q_{\text{баз}} - Q_{\text{пл}}) \cdot Ц \cdot K_{\text{прип}}, \text{ [руб./шт.]},$$

где: $Q_{\text{баз}}$ – масса базового изделия; $Q_{\text{пл}}$ – масса проектируемого изделия; $Ц$ – оптовая цена металла за 1 кг, руб.; $K_{\text{прип}}$ – коэффициент, учитывающий припуск на обработку материалов ($K_{\text{прип}} = 1,25 \dots 1,35$).

Данные расчета: $Q_{\text{баз}} = 0,372$ кг, $Э_{\text{мат}} = (0,745 - 0,734) \cdot 980,32 \cdot 1,3 = 14,01$ руб./шт.

На рисунке 3 показана загрузка 3D модели магнитной системы электропривода клапана рециркуляции, созданной в среде Компас 3D, в среду Ansoft Maxwell. Схема распространения магнитной индукции в магнитной системе электропривода,

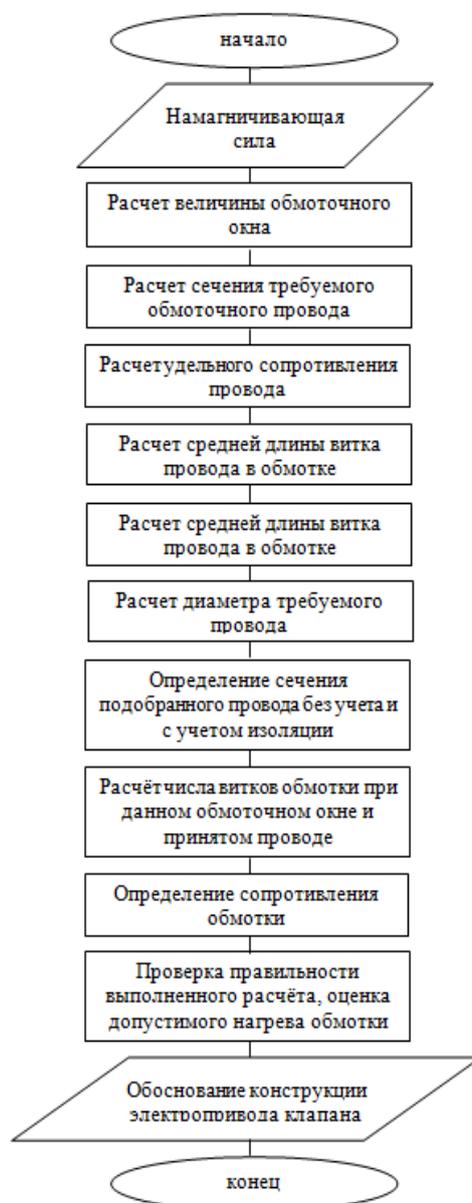


Рисунок 1. Алгоритм расчёта электропривода клапана рециркуляции

полученная в среде Maxwell, служит для того чтобы проанализировать, правильно ли собрана модель. Это необходимо для правильности дальнейших расчётов. Из рисунка 3 а видно, что модель собрана правильно, так как линии магнитной индукции проходят через магнитопровод. Интерфейс программы позволяет определить величину плотности магнитной индукции, выраженной в теслах [Тл], с помощью цветовой маркировки.

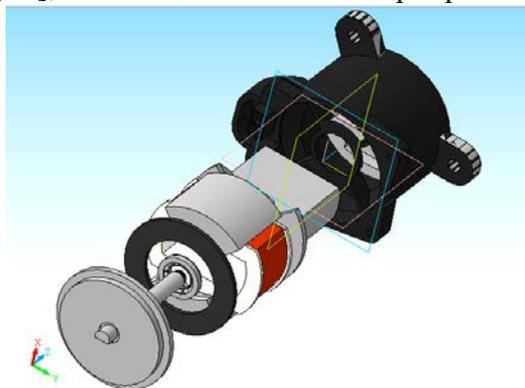


Рисунок 2. 3D-образ сборки электропривода для электромеханического клапана EGR

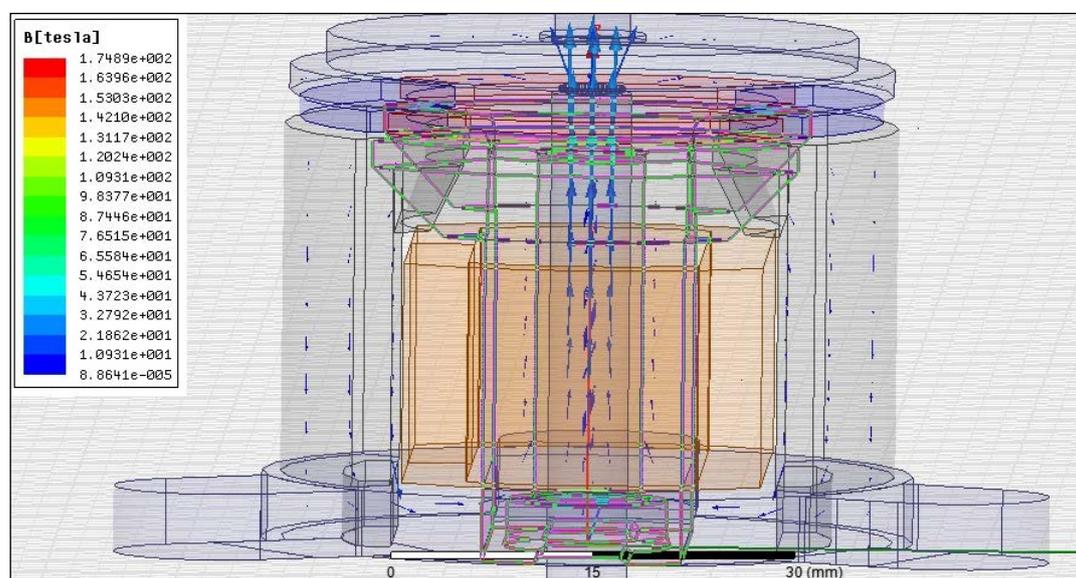


Рисунок 3. 3D-образ сборки электропривода с магнитопроводом в среде Maxwell, схема распространения магнитной индукции

Далее 3D-модель электропривода клапана рециркуляции используется для получения расчётных зависимостей магнитного момента системы от времени, тока управления от времени и угла поворота от времени [7], на основании которых строится зависимость тока управления от угла поворота ротора электропривода (рисунок 4).

Полученная характеристика управления электроприводом записывается в элемент управления и используется для программирования элемента управления на открытие клапана рециркуляции в различные положения, в зависимости от условий, на какой угол поворота электропривода необходимо открытие. Размер сечения клапана рециркуляции зависит от угла поворота электропривода, а также от нагрузки на двигатель автомобиля и оборотов коленчатого вала двигателя.

Анализ основных тенденций развития конструкции автомобильного электрооборудования и направлений по разработке математических моделей и методов инженерных расчетов при его проектировании [8] позволяет сделать вывод о том, что методы компьютерного моделирования и конвертирования для оптимизации параметров можно распространить на различное электрооборудование наземных транспортных средств.

Подсчитано сокращение временных затрат на проектирование устройств системы рециркуляции. Оценивалось десять вариантов расчетов для различных устройств с примени-

ем моделирования и конвертирования трехмерных моделей и без применения, а также создание 3D-образов изделий с помощью 3D-сканирования и макетов путем 3D-печати в тех случаях, когда это целесообразно.

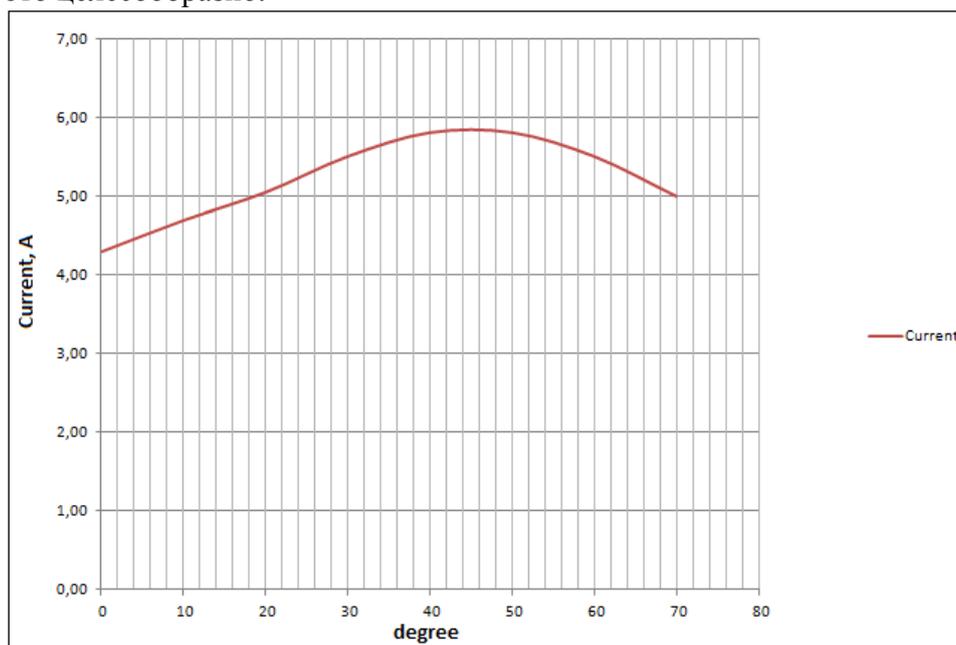


Рисунок 4. Зависимость угла поворота ротора электропривода от тока управления

Комплексное применение информационных технологий трехмерного моделирования и аддитивных технологий позволяет сократить срок разработки по сравнению с традиционными методами организации технологического процесса сборки и отработки, более чем на 40%.

Количество изменений, вносимых при отработке и сборке на разных стадиях проектирования устройств системы рециркуляции по причине технологических несоответствий и недостатков конструкции, снизилось в 1,8 раз.

Выводы

Аддитивные технологии на современном этапе развития не позволяют создать на 3D-принтере (3D-сканере) прототипы сложных технических устройств, в составе которых имеются резьбовые соединения, трубопроводы малого сечения, электрические обмотки. Отработку и сборку таких устройств целесообразно проводить в виртуальной трехмерной среде, с использованием специализированных расчетных пакетов, так как в этом случае будут осуществлены все требования по точности геометрических размеров. Сформирована система аннотированных представлений в проектной трёхмерной модели конструкции и компоновки устройств системы рециркуляции. Разработана методика визуализации исходных данных, результатов моделирования и конвертирования устройств клапана рециркуляции, позволяющая провести оптимизацию параметров по заданному критерию снижения потерь мощности автомобильного двигателя, а также уменьшить массогабаритные показатели устройств системы рециркуляции за счет более точного расчета параметров в программах моделирования. Комплексное применение информационных технологий трехмерного моделирования и аддитивных технологий позволяет сократить срок разработки по сравнению с традиционными методами организации технологического процесса сборки и отработки более чем на 40%. Определен экономический эффект от мероприятия по снижению массы проектируемого устройства – клапана рециркуляции. Количество изменений, вносимых при отработке и сборке на разных стадиях проектирования устройств системы рециркуляции по причине технологических несоответствий и недостатков конструкции, снизилось в 1,8 раз.

Литература

1. Зубков В.Г., Колтунов И.И., Акимов А.В. Перспективы и направления развития отечественного высшего профессионального образования // Известия МГТУ «МАМИ». – 2009.

- Т. 1. – № 1. – С. 242 – 249.
2. Артюшенко В.М. Информационное обеспечение деятельности предприятий автосервиса // Промышленный сервис. – 2009. – № 4(33). – С. 3 – 10.
 3. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Аббасов А.Э. Условия эффективного применения виртуальных лабораторий для инженерного образования // Сб. тр. по материалам II-ой международной научно-практической интернет-конференции «Инновационные технологии в современном образовании» 19.12.2014 – [Текст] / Королев МО, Финансово-технологическая академия, ФТА: Изд-во «Алькор Паблшерс», 2015. – С. 12 – 19 (456 с.) – ISBN 978-5-906099-85-3.
 4. Аббасов А.Э., Аббасова Т.С. Разработка методики 3D-моделирования оборудования системы управления рециркуляцией выхлопных газов автомобиля // Информационно-технологический вестник. – № 1(01). – 2014. – С. 3 – 12.
 5. Аббасов А.Э. Конвертирование трехмерных компьютерных геометрических моделей для оптимизации параметров моделируемых устройств // Компьютерные исследования и моделирование. – Том 7. № 1. – 2015 – С. 81 – 91.
 6. Аббасов А.Э., Аббасов Э.М., Аббасова Т.С. Проблемы моделирования переходных электромагнитных процессов оборудования системы рециркуляции автомобиля // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации: сб. статей IV международной заочной научно-технической конференции. – Тольятти: ПВГУС, 2014. – С. 7 – 12.
 7. Аббасов А.Э. Расчёт параметров клапана системы рециркуляции в программной среде Maxwell // Информационно-технологический вестник. – 2014. – № 2(02). – С. 3 – 10.
 8. Набоких В.А., Нигматуллин Ш.М. Развитие конструкции генераторных установок и мотор-генераторов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2013. № 6. С. 8 – 9.

Эколого-экономические проблемы различных проектов «экологически чистого» Зеленого автомобиля

к.т.н. Азаров В.К., Гайсин С.В., д.т.н. проф. Кутенев В.Ф., Васильев А.В.
ФГУП «НАМИ»
yadim.azarov@nami.ru

Аннотация. В статье анализируются проблемы экологических характеристик и экономических затрат, связанных со снижением загрязнения воздушной атмосферы городов вредными выбросами от автомобильного транспорта. Проведен сравнительный анализ экологического и экономического ущербов от выбросов вредных веществ с отработавшими газами и от износа шин и тормозных механизмов автомобильного транспорта. Предлагаются эффективные мероприятия по снижению вредного воздействия загрязненной окружающей среды на пассажиров и водителей, а также обосновывается ежегодный транспортный налог на автотранспортные средства.

Ключевые слова: загрязнение воздушной среды городов, вредные вещества, твердые частицы, парниковые газы, шинная пыль, экологический ущерб, комбинированные энергоустановки, электромобили, салонные фильтры.

Существующие в настоящее время проблемы с загрязнением воздуха в крупных городах и мегаполисах отработавшими газами (ОГ) автомобилей, несмотря на достигнутые успехи за последние 20 лет за счет внедрения норм ООН (Евро-5, Евро-6), дополняются проведенным в 2011-2013 годах в НАМИ сравнительным анализом большой разницы выбросов твердых частиц от износа шин, тормозных систем и от ОГ [1,2].

В период 1990-2001 годов стало известно, что вовсе не автомобильные отработанные газы, как это было в действительности в 1965-1970 годах, являются основным загрязнителем городского воздуха, так как до 60% загрязняющих и опасных для здоровья веществ обеспечивает истертая в мелкую пыль резина автомобильных шин. За год в одной только Москве