

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный
технический университет
имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

Студенческая ул., д. 7, г. Ижевск, УР, 426069
тел. (3412) 58-53-58, 58-88-52, 77-60-55 (многоканальный)
Факс: (3412) 50-40-55
e-mail: info@istu.ru <http://www.istu.ru>
ОКПО 02069668 ОГРН 1021801145794
ИНН/КПП 1831032740/183101001

"УТВЕРЖДАЮ"

Ректор ФГБОУ ВО "ИжГТУ
имени М.Т. Калашникова",
д.т.н., профессор



"22" ноября 2016 г.

№ _____
На № _____ от _____

О Т З Ы В

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» на диссертационную работу Куликова Ильи Александровича «Совершенствование средств создания и исследования автомобилей с комбинированными энергоустановками с помощью технологий виртуально-физических испытаний», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»

Известно, что одним из эффективных методов повышения топливной экономичности и повышения экологических свойств автотранспортных средств (АТС) является применение в их конструкциях комбинированных энергетических установок (КЭУ). По этому перспективному направлению работает большое количество фирм в мире. АТС, оборудованные КЭУ, имеют практически такие же силы сопротивления движению, как и автомобили прототипы, оборудованные двигателями внутреннего сгорания (ДВС): силы сопротивления качению и сопротивления воздуху, потери в трансмиссии. Тогда на преодоление этих сил сопротивления движению АТС необходимо затратить такое же количество мощности КЭУ, как и у автомобиля, оборудованного ДВС. Возникает естественный вопрос – каким образом у АТС, оборудованных КЭУ, достигается топливная экономичность и экологичность до 30 % и более? Как показала практика создания КЭУ, повышение топливной экономичности – это рекуперация кинетической энергии АТС при его торможении и замедлении и, в большей степени, обеспечение работы ДВС на более экономичных режимах его работы; повышение экологичности – это наличие в КЭУ электродвигателя, что обеспечивает работу ДВС с меньшими выбросами токсичных веществ или позволяет отключать ДВС в некоторых режимах движения АТС. Следовательно, улучшение эксплуатационных свойств АТС для заданного типа КЭУ (последовательная, параллельная или смешанная схема) определяется в большей степени разработанным алгоритмом работы электрического и теплового двигателя в составе КЭУ, реализованном в системе управления работой КЭУ. Исследования алгоритмов работы КЭУ, это наиболее сложный и наукоемкий этап создания эффективных комбинированных энергосиловых установок машин. По данному направлению будут продолжаться исследования, т.к. имеется еще большое количество нерешенных проблем. Поэтому актуальность

диссертационной работы Куликова И.А., направленной на совершенствование методов исследования и обоснования алгоритмов управления КЭУ путем применения технологий виртуально-физических испытаний, не вызывает сомнений.

Ключевыми проблемами работы являются:

- обзор и анализ современного состояния проблем исследования КЭУ автомобилей;
- анализ виртуальных систем, дублирующих и дополняющих физические объекты;
- разработка методики создания виртуально-физических систем КЭУ;
- разработка математических моделей компонентов КЭУ и автомобиля;
- разработка метода исследования рекуперации кинетической энергии автомобиля в электрическую при торможении и замедлении автомобиля с помощью виртуально-физического моделирования;
- разработка метода исследования мощностных потоков в КЭУ с помощью виртуально-физического моделирования;
- виртуально-физические испытания для подтверждения сходимости расчетных исследований с результатами экспериментальных исследований.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- разработана методика разработки (синтеза) виртуально-физических систем (частей) КЭУ;
- разработаны математические модели компонентов КЭУ и автомобиля с помощью технологий виртуально-физических испытаний;
- разработан метод исследования рекуперации кинетической энергии автомобиля с помощью виртуально-физического моделирования;
- разработан метод исследования мощностных потоков в КЭУ с помощью виртуально-физического моделирования;
- научно обоснованы направления совершенствования конструкций КЭУ автомобилей.

Обоснованность правильности решения и достоверность результатов исследований подтверждаются:

- корректностью применения теории движения транспортной машины, теории автоматического управления, методов математического моделирования, теории дифференциальных уравнений и численных методов вычислительной математики, современного программного обеспечения ПЭВМ;
- согласованностью полученных результатов расчетных исследований с экспериментальными данными лабораторно-дорожных испытаний КЭУ трех автомобилей;
- практической апробацией основных положений диссертационного исследования.

Значимость для науки и практики результатов диссертационного исследования заключается в создании методического обеспечения для исследования КЭУ транспортной машины, позволяющего проводить анализ и синтез конструкции с целью обоснования компонентов КЭУ и ее системы управления для снижения расходов топлива и обеспечения ее эффективной работоспособности. Разработанное методическое обеспечение может быть использовано в научно-исследовательских, конструкторских и других организациях, занимающихся созданием КЭУ для транспортных машин.

Результаты работы в достаточном объеме опубликованы в центральных изданиях печати. Следует отметить девять работ, опубликованных в изданиях, входящих в Перечень изданий ВАК.

Теоретические положения и практические рекомендации, изложенные в диссертации, могут быть использованы в учебном процессе при подготовке студентов ВУЗов по направления "Наземные транспортно-технологические комплексы".

Общее содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, семи глав, что несвойственно для кандидатских диссертаций, основных результатов и выводов по работе, списка использованных источников (142 наименования), приложения. Общее количество страниц в диссертационной работе 205.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, проведен анализ степени проработанности темы диссертационного исследования, сформулированы цель работы и основные задачи, решение которых позволит достичь эту цель. Далее представлена информация о научной новизне работы, о ее практической значимости и реализации. Говорится о методах исследования при выполнении диссертационной работы; представлены основные положения, выносимые на защиту; заявляется о подтверждении степени достоверности результатов исследования; приводится информация об апробации работы, о публикациях и структуре и объеме диссертационного исследования.

Первая глава начинается с введения терминологии, что является спорным вопросом. Мы считаем, что в работе идет речь о комбинированной энергосиловой установке (КЭСУ). Когда мы говорим о КЭУ – комбинированной энергетической установке, то мы говорим об источнике энергии (двигатель внутреннего сгорания, электродвигатель, комбинация этих двигателей и т.д.). Терминология ученых г. Ижевска КЭСУ = КЭС + "Трансмиссия". Далее рассматривается концепция КЭУ и способы ее реализации. При этом автор уходит от анализа различных конструктивных схем, например, последовательная, параллельная и смешенная – какая схема наилучшая. Что такое наилучшая? Это зависит от критериев, предъявляемых к автомобилю. Например, мы создаем динамичный автомобиль для Формулы 1. Это говорит о том, что структура гибридного автомобиля и характеристики его составных частей определяются критериями (требованиями) к разрабатываемому автомобилю. Далее автор переходит к проблемам рекуперации кинетической энергии при торможении и замедлении автомобиля, что очень важно при создании гибридного автомобиля. Дальнейшее изложение главы 1 – это рассмотрение режимов испытаний КЭС, рассмотрение средств испытаний, переход к рассмотрению специфики использования виртуальных и физических средств в исследованиях автомобилей с КЭУ. Здесь автор приходит к основополагающему направлению диссертационного исследования – применение технологий виртуально-физических испытаний.

Во второй главе рассматриваются системы виртуально-физических испытаний, а именно, виртуальные системы, дублирующие физические объекты, и виртуальные системы, дополняющие физические объекты. Т.е. представлена, на наш взгляд, ценная информация, хотя не несущая признаков научной разработки. Автор предлагает некоторую технологию, которую необходимо применить. И это правильно. Далее идет раздел "Цель и задачи исследования". Этим разделом должна заканчиваться первая глава. Для автомобилиста "специалиста по наземным транспортно-технологическим комплексам", проблемы виртуально-физических испытаний это не предмет исследований, а способ получения наиболее рационального (оптимального решения) при оптимизации КЭУ.

В третьей главе рассмотрены вопросы создания систем виртуально-физических испытаний для исследования и разработки автомобилей с КЭУ. На примере движения автомобиля в городском езде цикле рассмотрены вопросы со-пряжения и синхронизации виртуального объекта с объектом физическим, а также вопросы идентификации наблюдаемых переменных. Представлены разработанные схемы идентификации режимов работы энергоустановок на базе ДВС и КЭУ параллельной схемы. Проведен анализ дополняющих друг друга виртуальных и физических объектов. Разработаны схемы виртуально-физических испытаний автомобилей. Обоснована целесообразность применения пропорционально-интегральных регуляторов при виртуально-физических испытаниях.

В четвертой главе решаются задачи выбора и обоснования математических моделей компонентов (частей) автомобиля и энергоустановки. Отмечается, что в математической модели тяговых батарей ключевыми факторами являются мощность и энергоемкость батареи. Проведен сравнительный анализ моделирования аккумуляторов посредством схем замещения; рассмотрены особенности моделирования аккумуляторов; проведена сравнительная оценка адекватности и точности моделей напряжения аккумулятора; обоснованы формулы расчета КПД аккумулятора и степени его заряженности. Рассмотрены вопросы моделирования тепловых и электрических двигателей: выделены входные и выходные переменные двигателей; представлены результаты стендовых испытаний теплового двигателя, положенные в основу математической модели расхода топлива автомобилем; в основу расчета КПД электропривода положены экспериментальные характеристики КПД двигателя и инвертора; рассмотрены особенности моделирования двигателей как динамических звеньев системы управления. Представлена математическая модель, позволяющая рассчитывать сцепные свойства колес с подробным анализом методик и особенностей работы колеса при скольжении (буксовании).

В пятой главе проведено исследование автомобиля с системой рекуперации. При этом решались задачи подтверждения точности расчетных исследований путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Далее решаются важные с научной точки зрения и практики задачи энергетической эффективности рекуперации (что дает рекуперация?), как организовать процесс рекуперации (какой алгоритм), учитывая, что имеется тормозная система, два двигателя и др. Объектом исследования являлся электромобиль ВАЗ-1817. Проведены испытания указанного автомобиля с системой рекуперации. Учитывая математические модели, разработанные в предыдущей главе, выполнен достаточно большой объем расчетных исследований, что и должно быть в кандидатской диссертации. Предыдущие теоретические исследования позволили исследовать характеристики автомобиля в зависимости от алгоритмов и состава КЭУ.

В шестой главе представлены результаты исследования режимов работы компонентов и потоков мощности КЭУ исследуемого автомобиля. Объект исследования – это автомобиль Toyota Prius ZVW30. Предложен анализ нагрузочных режимов испытаний указанного автомобиля. Далее представлена математическая модель испытуемого объекта: расчетная модель силового привода; математическая модель механической части трансмиссии; многопараметровые характеристики теплового двигателя автомобиля Toyota Prius ZVW30; результаты создания системы идентификации режимов работы КЭУ; описаны результаты экспериментов и проведен анализ этих экспериментов; проведен анализ потоков мощности и КПД КЭУ.

В седьмой главе представлены результаты создания лабораторной системы виртуально-физических испытаний КЭУ грузового автомобиля. Вначале описан объект исследования – автомобиль КАМАЗ с КЭУ. Описаны: объекты и средства лабораторных испытаний; математические модели виртуальной части объекта испытаний; архитектура системы виртуально-физических испытаний; подробно описаны

виртуально-физические испытания, а именно, программа испытаний, испытания в ездовом цикле, испытания с моделированием сцепления шин с дорогой.

В **Приложении** представлено моделирование курсового движения автомобиля с помощью системы виртуально-физических испытаний (почему эти исследования вынесены в приложение не понятно) и Акт внедрения результатов докторской диссертационного исследования Куликова И.А.

Общие замечания по докторской работе:

1. Количество глав, равное 7, пор нашему мнению чрезмерное. Необходимо было систематизировать результаты научных исследований и изложить работу в 4-х главах: обзорная, теоретическая, расчетная и экспериментальная.

2. На протяжении всей докторской работы используется термин "подтверждается адекватность и точность моделирования". Это неправильная формулировка. Исследования, представленные в докторской работе, являются новыми. Мы можем говорить только о точности предлагаемых математических моделей, что подтверждено путем сопоставления результатов расчетных и экспериментальных исследований. Вывод об адекватности мы на данном этапе делать не можем.

3. Целью работы является улучшение эксплуатационных свойств путем применения КЭУ. А для достижения этой цели потребовалось совершенствовать средства создания и исследования автомобилей с КЭУ, т.е. сформулированная цель исследований является задачей.

4. Автор рассматривает не комбинированную энергетическую установку (КЭУ), а комбинированную энергосиловую установку (КСЭУ), что важно с точки зрения терминологии для данного развивающего направления в автомобилестроении.

5. Автор в докторской работе не рассматривает одно из направлений повышения топливной экономичности – это направление связано с переходом на менее мощные и экономичные тепловые двигатели в составе КСЭУ, что позволяет улучшить как топливную экономичность автомобиля, так и его экологичность.

6. В седьмой главе рассматривается грузовой автомобиль КАМАЗ с КЭУ. А нужно ли заниматься грузовыми автомобилями, которые в основном эксплуатируются на магистральных дорогах, в направлении внедрения на них КЭУ?

Заключение.

Докторская диссертация является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, выполненной самостоятельно на высоком научном уровне. В докторской работе изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны, позволяющие повышать топливную экономичность и экологичность автомобилей на ранней стадии проектирования.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов.

Автореферат соответствует основному содержанию докторской диссертации.

В соответствии с вышеизложенным считаем, что докторская диссертация «Совершенствование средств создания и исследования автомобилей с комбинированными энергостанциями с помощью технологий виртуально-физических испытаний» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским докторским диссертациям ВАК России, а ее автор, Куликов Илья Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины.

Данный отзыв рассмотрен и единогласно одобрен на заседании кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» протокол № 2 от «12» ноября 2016 г.

Кандидат технических наук, доцент,
Зав. кафедрой "Автомобили и
металлообрабатывающее оборудование"
ФГБОУ ВО "Ижевский государственный технический
университет имени М.Т. Калашникова"
Музафаров Раис Салихович;
почтовый адрес: 426068, г. Ижевск,
ул. Подлесная 9, д. 12, кв. 38;
тел. 8-912-768-78-00;
e-mail: amo@istu.ru;

Кандидатская диссертация по специальности
15.02.08 – Технология машиностроения

 R.S. Музафаров/

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры "Автомобили и
металлообрабатывающее оборудование"
ФГБОУ ВО "Ижевский государственный технический
университет имени М.Т. Калашникова"
Умняшкин Владимир Алексеевич;
почтовый адрес: 426053, г. Ижевск,
ул. Пастухова, д. 18, кв. 8;
тел. 8-912-757-97-79;
e-mail: amo@istu.ru;

Докторская диссертация по специальности
05.05.03 – Колесные и гусеничные машины и
Машиноведение и детали машин

 /В.А. Умняшкин/

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры "Автомобили и
металлообрабатывающее оборудование"
ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический
университет имени М.Т. Калашникова"
Филькин Николай Михайлович;
почтовый адрес: 426068, г. Ижевск,
ул. Автозаводская, д. 13, кв. 369;
тел. 8-912-448-17-01;
e-mail: fnm@istu.ru;

Докторская диссертация
по специальности 05.05.03

 /Н.М. Филькин/