

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.09, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК.

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27.12.2019 № 23

О присуждении Гимазетдинову Руслану Раифовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе компонентного подхода в составе когенерационных энергетических установок» по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели принята к защите 26.10.2019, протокол № 15 диссертационным советом Д 212.298.09, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», 454080, г. Челябинск, проспект В.И. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета Д 212.298.09 № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Гимазетдинов Руслан Раифович, 1978 года рождения.

В 2001 году соискатель окончил Челябинский Военный Автомобильный институт, по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» (инженер), в 2010 году окончил Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военный учебный научный центр сухопутных войск «Общевойсковая академия вооруженных сил Российской Федерации», по специальности «Управление эксплуатацией вооружением военной тех-

ником и техническим обеспечением войск (сил)» (специалист в области управления).

В период подготовки диссертации и по настоящее время работает в ООО «Техноцентр Восток» в должности директора.

Диссертация выполнена на кафедре Колесных и гусеничных машин Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Малозёмов Андрей Адиевич, профессор кафедры Колесных и гусеничных машин Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Еникеев Рустэм Далилович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа;

2. Руднев Валерий Валентинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Челябинск;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, в своем положительном отзыве, подписанном Свистулой Андреем Евгениевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», и Сеницыным

Владимиром Александровичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» указала, что Гимазетдинов Руслан Раифович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 3 работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях по специальности 05.04.02, 1 патент на полезную модель, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты, достигнутые в ходе исследования по теме диссертации, изложены в следующих работах:

В статье «Разработка математической модели и программного обеспечения для имитационного моделирования поршневых ДВС» (Двигателестроение. – 2018. – № 3. – С. 3–9) изложены принципы и методы имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания, приведены математические модели, лежащие в основе основных компонентов, результаты валидации математических моделей и программного обеспечения (авторское участие 70 %).

В статье «Дизель-генераторная установка с утилизацией сбросовой теплоты поршневого ДВС» (Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 3–7) приведено описание когенерационной энергетической установки, использованной в качестве объекта экспериментального исследования диссертационной работы, и результаты её натурных испытаний (авторское участие 70 %).

В статье «Снижение механической и тепловой напряженности первичного конвертированного тракторного дизеля в составе многофункционального энерго-технологического комплекса» (Вестник УГАТУ, 2018. – Т. 22. – № 2 (80). – С. 25–3.) приведены математические модели, основанные на методах энергетического и массового баланса газов, являющиеся основой имитационных моделей поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок (авторское участие 40 %).

Программа для ЭВМ «Программа для имитационного моделирования когенерационной энергетической установки с поршневым двигателем внутреннего сгора-

ния (цифровой двойник)» (свидетельство о государственной регистрации № 2019610874, дата регистрации – 18.01.2019, бюл. № 1) реализует методы имитационного моделирования когенерационных энергетических установок с поршневым двигателем внутреннего сгорания (авторское участие 70 %).

Полезная модель «Когенерационная энергетическая установка» (патент РФ на полезную модель № 183358, выдан 19.09.2018) реализует разработанное с применением созданных математических моделей техническое решение, заключающееся в том, что сердцевины, включенные в контуры систем смазки и охлаждения, находятся в общем корпусе, благодаря чему нет необходимости в устройствах для дополнительного регулирования температуры масла и в жидкостно-масляном теплообменнике (авторское участие 40 %).

В статье «Имитационное моделирование когенерационных энергетических установок с поршневым ДВС в качестве первичного двигателя» (Вестник Сибирского отделения академии военных наук. – Омск, 2018. – Вып. 46. – С. 105–116) изложены принципы и методы имитационного моделирования когенерационных энергетических установок с поршневыми двигателями внутреннего сгорания, описано программное обеспечение, реализующее эти принципы и методы (авторское участие 100 %).

На диссертацию и автореферат поступило 14 отзывов, в том числе 2 отзыва от оппонентов, 1 отзыв от ведущей организации, 11 отзывов поступило на автореферат согласно списку рассылки. Все отзывы положительные. В отзывах отмечается, что тема диссертационной работы соответствует специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели, работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Замечания, отмеченные в отзывах:

1) **Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»:

1. В материалах диссертации и в автореферате не приведено сравнение результатов расчетов, выполненных с применением разработанных с участием автора математических моделей и программного обеспечения, и известных программных продуктов (например, фирм AVL, Ricardo и др.), где реализованы методы имитационного моделирования.

2. Уравнение Фурье-Кирхгофа (выражение 2.53) представлено в частных производных, в то время как математическая модель основана на решении системы алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений с применением решателя DASSL (differential / algebraic system solver). Из текста диссертации не понятно, каким образом система уравнений Фурье-Кирхгофа для сеточной модели твердого тела решалась с помощью решателя DASSL.

3. Как известно, программы, созданные на языке моделирования Modelica, работают существенно медленнее, чем написанные, например, на языках C++ или Fortran. Возможно, было бы целесообразнее разработать программное обеспечение с применением более «быстрых» языков программирования.

4. Информация, представленная в заключении по диссертационному исследованию, крайне лаконична и практически не содержит количественных оценок, касающихся эффективности разработанных автором методов имитационного моделирования и математических моделей компонентов и связей в виде ПО, предназначенных для создания, совершенствования и повышения конкурентоспособности ПДВС в составе КГУ и КГУ в целом.

5. Одной из центральных задач, которые перед собой ставит автор для достижения целей диссертационного исследования, является адаптация принципов имитационного моделирования к процессам в ПДВС, работающим в составе КГУ, на основе компонентного подхода. Однако по представленным материалам сложно оценить личный вклад автора в методы имитационного моделирования ПДВС в составе КГУ с различными конструктивными решениями и отличие от известных методик моделирования.

6. Математическая модель ПДВС, описанная автором в тексте диссертации, не включает блоки, связанные с моделированием топливоподачи, систем автоматиче-

ского регулирования и управления процессами ПДВС, других систем и механизмов (например, механизма газораспределения). Видимо, эти вопросы автор будет планировать и развивать в дальнейших исследованиях.

7. На стр. 134 диссертационного исследования автор приводит расчетные и индикаторные диаграммы дизеля 4ЧН15/20.5, видимо в качестве элемента валидации разработанной математической модели ПДВС, утверждая, что они (диаграммы) практически полностью совпадают для всех режимов работы двигателя. В связи с этим требуют пояснения вопросы, а именно: всё же для каких конкретно режимов работы проводились расчетно-экспериментальные исследования (скоростных, нагрузочных, других) и какова степень адекватности эксперимента и модели рабочего процесса дизеля.

8. К сожалению, в работе имеются отдельные неточности: путаница с номерами формул и ссылками на литературные источники, коэффициент теплопроводности в уравнении Фурье λ почему-то назван коэффициентом теплопередачи.

2) Официальный оппонент Еникеев Рустэм Далилович:

В обосновании методологии работы (на с. 4 автореферата) и далее, в первом пункте списка отличий от общепринятых подходов (там, где обосновывается новизна результатов) заключено, по моему мнению, методологически спорное положение. Так, в первом случае говорится: «традиционный императивный (основанный на последовательных алгоритмах) подход к математическому моделированию не отражает физическую сущность процессов», во втором – говорится, что методы имитационного моделирования автора отличаются от известных «математическим описанием компонентов и процессов в ПДВС и КГУ, реализующим декларативный подход при их математической формализации и создании ПО». Суть замечания (или возражения): традиционный подход к математическому моделированию процессов в физике и технике – устоявшийся и рациональный подход, именуемый «гипотетико-дедуктивным»; при его применении единую модель процессов можно, хотя бы в принципе, сформулировать в виде замкнутой системы уравнений (выделив при этом все сделанные допущения). Тогда алгоритмизация – совершенно отдельный аспект или этап моделирования, на котором применимы те или иные специфические под-

ходы. И здесь главное требование: вычисления на ЭВМ должны давать корректные (единственные) решения поставленных прямых (и обратных) задач по системам уравнений моделей процессов. Разные подходы к собственно алгоритмизации вычислений, действительно, в ряде случаев могут давать более или менее эффективные алгоритмы – как вычислений на ЭВМ, так и «алгоритмы» работы с ЭВМ и исследователей, и расчетчиков. Скорее всего, действительно, применение «декларативных» инструментальных средств реализации моделей повышает производительность труда тех и других, снимая часть ненужных сложностей и просто в принципе позволяя решать на ЭВМ нужные классы задач.

3) Официальный оппонент Руднев Валерий Валентинович:

1. Автором не показаны границы применимости разработанных методов и математических моделей. Для разработки и модернизации каких типов двигателей, какого конструктивного исполнения и назначения, в каком диапазоне мощностей и частот вращения могут быть использованы результаты диссертационного исследования?

2. В тексте диссертации отсутствует информация по настройке решателя DASSL (шаг расчета, задаваемая точность) и о возможности применения других численных методов (Эйлера, Рунге-Кутты, Адамса и т.д.), которые могут быть менее трудоёмки без потери точности.

3. При конструировании двигателей необходимо оценивать показатели тепловой и механической нагруженности его деталей, при этом нужно учитывать их геометрию с высокой степенью детализации. В диссертации упомянута только возможность двухмерного осесимметричного расчета теплового состояния гильзы цилиндра. Из текста диссертации не ясно, как имитационная модель может быть использована для оценки прочностных показателей деталей.

4. Для определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами автор использовал математическую модель Н.Ф. Разлейцева, однако в тексте диссертации нет данных, подтверждающих её адекватность при имитационном моделировании первичных двигателей энергоустановок. Кроме того, существуют более точные фе-

номенологические модели, например, А.С. Кулешова или Х. Хирояшу. Почему автор не использовал их?

4) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»: Бродов Юрий Миронович, зав. кафедрой «Турбины и двигатели», д.т.н., профессор; Плотников Леонид Валерьевич, доцент кафедры «Турбины и двигатели», к.т.н.:

1. Каковы границы применимости математической модели когенерационной установки с поршневым ДВС, разработанной автором? Учитывает ли она циклический характер рабочего процесса поршневого двигателя? Возможно ли её применение на частичных режимах, на переменных режимах?

2. Возможно ли распространение данных, полученных автором, на поршневые двигатели других размерностей и назначения?

3. Какие элементы необходимо добавить в разработанную математическую модель для получения цифрового двойника когенерационной установки с ДВС?

5) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»: Ложкин Владимир Николаевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ:

Пожелание: более детально проанализировать механизмы возможной экологической оптимизации ПО имитационного моделирования комбинированных ПДВС в аспекте проблемы глобального потепления климата.

6) Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва (Омский филиал): Шабалин Денис Викторович, профессор кафедры боевых гусеничных, колесных машин и военных автомобилей, д.т.н., полковник; Ивахненко Тарас Алексеевич, начальник кафедры боевых гусеничных, колесных машин и военных автомобилей, к.т.н., полковник:

1. Из содержания автореферата диссертации не совсем ясно как отразится на топливной экономичности и вредных выбросах с отработавшими газами дизель-генератора усовершенствованная система утилизации теплоты. Так на стр. 16-17 и 19 автореферата сказано (.....за счет повышения коэффициента теплоотдачи серд-

цевины теплообменников....). Очевидно, что увеличение отвода теплоты от охлаждающей жидкости и масла любого теплового двигателя приведет к снижению его КПД, следовательно, и топливной экономичности, а увеличение количества сжигаемого топлива несомненно приведет к увеличению количества вредных выбросов.

2. Не совсем ясно значение фразы, представленной на стр. 10 автореферата (каждому компоненту ставится в соответствие математическое описание его методов.....).

3. Не раскрыта методика оценки экономического эффекта от внедрения разработанного автором технического решения.

7) **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»:** Юр Геннадий Сергеевич, зав. кафедрой Судовые энергетические установки, д.т.н., профессор:

1. Стр. 17, 19. Из содержания автореферата неясно, как на практике организуются пристеночные турбулентные потоки с оптимальной ориентацией.

2. Эффективность работы когенерационных энергетических установок с поршневыми ДВС разработана и затем подтверждена только для дизель-генератора ДГА-315. В связи с этим, рекомендую продолжить исследования для поршневых двигателей других размерностей и других конструкций когенерационных энергетических установок.

8) **ООО «ХОРИБА»:** Гиринович Михаил Петрович, управляющий директор, к.т.н.:

При обосновании актуальности темы исследования автор делает утверждение, что «увеличение доли когенерационных установок (КГУ), оснащенных системами утилизации сбросового тепла (СУТД) первичных поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС), может дать экономию топлива до 12% в отрасли малой теплоэнергетики и до 4% от общей выработки тепла в РФ», однако в автореферате не представлены обоснования, подтверждающие возможность достижения столь значительной экономии.

9) **АО «Энергетический институт имени Г.М. Кржижановского»:** Редько Иван Яковлевич, заместитель генерального директора, д.т.н., профессор:

1. Отсутствуют данные, подтверждающие адекватность математических моделей и программного обеспечения при определении выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

2. Отсутствуют математические модели, описывающие процессы изнашивания деталей двигателя и энергоустановки и позволяющие прогнозировать ресурсные показатели.

10) **ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»:** Салова Тамара Юрьевна, доцент кафедры «Механика и гидромеханика», д.т.н., профессор:

1. Выводы 1-3 по работе представлены как констатация факта.

2. Необходимо пояснить, за счет чего происходит повышение коэффициента теплоотдачи в теплообменнике и как влияет процесс турбулизации потоков на потери энергии при движении теплоносителя.

11) **ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»:** Лопатин Олег Петрович, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, к.т.н.; Россохин Алексей Валерьевич, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, к.т.н.:

1. В автореферате, на наш взгляд, следовало бы сформулировать конкретные рекомендации и предложения, которые автор работы предлагает для использования сделанных им исследований. Насколько предложенные автором модели позволяют упростить проведение разработок и испытаний энергетических установок и насколько результаты его исследований можно интерполировать на другие энергетические установки?

2. Список работ, указанный в автореферате, имеет отклонения от требований ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

3. На рисунках 4 и 5 автореферата (стр. 16), автор представил температуру жидкостей и суммарную тепловую мощность СУТД в зависимости от электрической

мощности. В то же время, приведена шкала N_t , кВт. Какие ещё параметры рассматривал автор работы с точки зрения математического прогнозирования и что такое N_t ?

4. На наш взгляд, в автореферате следовало бы привести больше результатов собственных исследований, в том числе в сравнении с экспериментальными данными, своими либо других авторов, нежели приводить схемы макетных образцов установок, не содержащих в себе элементы научной новизны.

5. По нашему мнению, следовало бы провести более широкую апробацию результатов своих исследований, поскольку результаты работы были представлены всего в трех научных конференциях, последняя из которых прошла в начале 2018 года.

12) ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения»: Носырев Дмитрий Яковлевич, профессор кафедры «Локомотивы», д.т.н., профессор:

1. На рисунках 2 и 6 приведено одинаковое название разных схем.

2. На рисунке 3 «Графическая схема тестовой имитационной модели макетного образца КГУ с ПДВС в окне редактора ПО» не читается текст.

3. На страницах 14 и 15 не указано по каким параметрам выполнялась валидация имитационной модели КГУ с ПДВС.

4. В разделе «Метод математической формализации» не нашли отражение компоненты «выбросы ВВ с ОГ» и «шум и вибрация».

13) ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»: Келлер Андрей Владимирович, начальник управления по взаимодействию с предприятиями промышленности, научными и образовательными организациями, д.т.н., профессор; Надарейшвили Гиви Гурамович, начальник управления антитоксичных систем и шумоглушения, к.т.н.:

1. Разработанные математические модели имеют универсальный характер и автору можно было не ограничивать тему работы двигателями для энергетических установок.

2. В автореферате приведены математические модели компонентов, относящихся к газозвоздушному тракту двигателя, и не приведены модели компонентов других систем (смазки, охлаждения и т.д.).

3. Из текста автореферата неясно какие требования автор предъявлял к точности математических моделей и была ли достигнута эта точность.

14) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»: Картошкин Александр Петрович, зав. кафедрой «Автомобили, тракторы и технический сервис», д.т.н., профессор; Агапов Дмитрий Станиславович, доцент кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», к.т.н., доцент:

1. Методы декомпозиции, математической формализации и синтеза широко известны в задачах технологического проектирования. Почему автор утверждает, что он их разработал?

2. На стр. 16 (последний абзац) говорится, что «... разработана конструкция СУТД», а на стр. 19 (первый абзац) утверждается, что «... усовершенствована СУТД» с той же эффективностью.

3. Чем объясняется нелинейность графика t (Nэ) на рисунке 4 в районе 50 кВт, а также 75 кВт?

4. В а/реферате говорится, что с помощью построенной автором модели усовершенствована система утилизации теплоты (4 п. заключения). При этом не ясно, каким образом модель указали на необходимость совершенствования именно этого узла системы?

На все вопросы и замечания оппонентов, ведущей организации и приведенные в отзывах на автореферат, соискатель предоставил содержательные и обоснованные ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований по теме диссертационной работы и соответствует требованиям постановления правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 30.07.2014) «О порядке присуждения ученых степеней». Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направ-

лении. Работы оппонентов и ведущей организации, представленные в информационной справке, опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2014 по 2019 гг., что свидетельствует об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских работ, а также об их осведомленности в современных тенденциях развития в области математического моделирования рабочих процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания, в том числе, в составе энергетических установок.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований применительно к тепловым двигателям:

разработаны методы имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок;

предложено применение компонентного, объектно-ориентированного и системного подходов, декларативного описания компонентов с ненаправленными связями к созданию имитационных моделей поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок;

доказана возможность частичной замены натуральных испытаний поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок расчетными экспериментами с применением имитационных моделей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность применения компонентного, объектно-ориентированного и системного подходов, декларативного описания компонентов с ненаправленными связями к созданию имитационных моделей поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы имитационного моделирования сложных технических систем, теории ненаправленных графов связей;

изложены методы многоуровневой декомпозиции, математической формализации компонентов, синтеза компонентных имитационных моделей применительно к поршневым двигателям внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок;

раскрыты противоречия между требованиями к детальности и достоверности математической модели и многообразием конструктивных решений поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок, которые невозможно описать в рамках одной универсальной математической модели;

изучены особенности сопряжения математических описаний газо- гидро- и термодинамических процессов в системах поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок, механических связей деталей, граничных условий для установки в целом;

проведена модернизация существующих методов имитационного моделирования сложных технических систем, адаптированных к особенностям функционирования поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены при решении инженерных задач по созданию когенерационных энергетических установок в ООО «ЧТЗ-Уралтрак» и ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» методы имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок; разработано техническое решение – теплообменник системы утилизации тепла охлаждающей жидкости и смазочного масла в общем корпусе, позволяющий упростить конструкцию системы;

определены перспективы практического использования и дальнейшего развития методов имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания;

создана программа для имитационного моделирования когенерационной энергетической установки с поршневым двигателем внутреннего сгорания;

представлены универсальные методы многоуровневой декомпозиции, математической формализации компонентов, синтеза компонентных имитационных моделей применительно к поршневым двигателям внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовано поверенное и аттестованное оборудование Испытательной лаборатории, аккредитованной Росстандартом РФ, соответствующие национальным стандартам методики испытаний, применены общепризнанные зависимости при определении показателей работы поршневых двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок на их базе;

теория построена на известных подходах и методах имитационного моделирования сложных технических систем, математических моделях процессов в системах и механизмах поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок, согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики применения известного программного обеспечения для имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания, обобщении передового опыта имитационного моделирования сложных технических систем;

использованы ранее полученные результаты индицирования давления газов в камере сгорания, подтвердившие адекватность математических моделей рабочих процессов в камере сгорания;

установлено качественное и количественное совпадение результатов имитационного моделирования, с применением разработанных математических моделей и программного обеспечения, с результатами, полученными с применением программного обеспечения других разработчиков и экспериментальными данными;

использованы современные программы и языки программирования для разработки программного обеспечения, реализующего методы имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания и когенерационных энергетических установок.

Личный вклад соискателя состоит в: проведении теоретических и экспериментальных исследований, адаптации методов имитационного моделирования для поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок, разработке математических моделей компонентов, валидации и

верификации тестовой имитационной модели когенерационной энергетической установки, апробации результатов исследования, подготовке публикаций по выполненной работе. Все результаты, приведенные в диссертации, получены самим автором или при его непосредственном участии.

На заседании 27.12.2019 диссертационный совет принял решение присудить Гимазетдинову Руслану Раифовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 6, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

Ю.В. Рождественский

Ученый секретарь диссертационного совета

Е.А. Лазарев



27 декабря 2019 года