

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Гимазетдинова Руслана Раифовича  
«Разработка методов имитационного моделирования поршневых двигателей  
внутреннего сгорания на основе компонентного подхода в составе когенераци-  
онных энергетических установок», представленную на соискание ученой сте-  
пени кандидата технических наук по специальности  
05.04.02 – Тепловые двигатели

### 1. Актуальность темы

Повышение технического уровня и конкурентоспособности средств малой энергетики на основе поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является важной задачей отечественной науки и техники. Более широкое внедрение методов компьютерного моделирования в процесс разработки и модернизации ДВС, предназначенных для эксплуатации в составе энергоустановок, позволяет не только повысить точность и качество расчетов, но и снизить затраты времени и материальных ресурсов при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Поэтому тема диссертационной работы Гимазетдинова Р.Р. является актуальной.

В диссертации рассмотрены и учтены, при разработке математических моделей, особенности функционирования ДВС в составе когенерационных установок (КГУ). Как известно, система утилизации сбросового тепла оказывает существенное влияние на процессы в системе выпуска отработавших газов, температуру и расход охлаждающей жидкости и масла в системах двигателя, процессы в камере сгорания, что в конечном итоге сказывается на параметрах назначения и безопасности энергоустановки.

Автором, на основании анализа существующих работ по теме исследования, справедливо отмечено, что в настоящее время нет имитационных моделей ДВС в составе КГУ, которые бы в полной мере отвечали требованиям разработчиков. Одной из причин этого является недостаточная проработанность методов имитационного моделирования ДВС, как единой, сложной и взаимосвязанной технической системы, в которой учитывается взаимное и часто неявное влияние нестационарных мультифизических процессов в отдельных элементах.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных литературных источников и двух приложений.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая значимость и практическая ценность, дана общая характеристика диссертационной работы.

В *первой главе* выполнен обзор и анализ работ, посвященных теме исследования, по результатам которого сформулирована цель и поставлены задачи диссертации.

Автором выполнен обзор тенденций развития средств малой энергетики, показана экономическая и социальная значимость более широкого внедрения систем утилизации сбросового тепла двигателей. На основе анализа требований нормативно-технических документов к ДВС и энергоустановкам на их базе сформулированы требования к номенклатуре и точности показателей, которые должны определяться с применением имитационных моделей.

Достаточно подробный обзор методов математического моделирования процессов в системах и механизмах ДВС и КГУ позволил автору сформулировать требования к функциональным характеристиками имитационных моделей: возможность расчета нестационарных, мультифизических и сопряженных процессов. Кроме того, им были обоснованы основные подходы к созданию имитационных моделей: компонентный, объектно-ориентированный, системный.

Необходимо отметить умение автора четко формулировать цели и задачи научного исследования, определять методы и подходы к его выполнению. Автор знает современное состояние, проблемы и перспективы создания и совершенствования энергоустановок и ДВС для них, в том числе, в части касающейся математического моделирования процессов в системах и механизмах.

*Вторая глава* посвящена разработке методов имитационного моделирования ДВС в составе КГУ, математических моделей отдельных компонентов и связей между ними.

Предлагаемый Гимазетдиновым Р.Р. метод многоуровневой декомпозиции ДВС в составе КГУ основан на выделении компонентов, относящихся к одному домену, реализующих одинаковый метод вычисления потоковых и потенциальных переменных и имеющих однотипные связи. Этот метод позволил автору унифицировать компоненты, применить единообразный подход для их математического описания, основанный на системе уравнений массового и энергетического описания, использовать преимущества объектно-ориентированного подхода.

Метод математической формализации компонентов основан на декларативном подходе, что позволило автору существенно упростить расчетную задачу за счёт разделения её формального описания и методов решения (используются стандартные, многократно апробированные решатели). Кроме того, декларативный подход позволил автору применить ненаправленные связи между компонентами, которые в большей степени, чем направленные, отражают физическую сущность процессов в реальных технических системах и позволяют моделировать существенно нестационарные процессы. Предложенный автором алгоритм моделирования теплообменников системы утилизации учитывает возможность изменения направления потока сред.

Метод синтеза компонентных имитационных моделей ДВС в составе КГУ основан на уравнениях баланса потоковых и потенциальных переменных, описывающих состояние «связываемых» компонентов. Автором обосновано использование тех или иных показателей в качестве потоковых и потенциальных переменных в зависимости от домена компонента. Связи являются унифицированными, что позволяет моделировать ДВС и КГУ разнообразной структуры.

Разработанные методы и математические модели послужили основой для создания программного обеспечения, предназначенного для синтеза и последующего использования имитационных моделей. Программное обеспечение имеет несомненную практическую ценность, так как является инструментом для реше-

ния конкретных инженерных задач, что подтверждается его применением при выполнении работ по созданию КГУ на основе дизелей типа ЧН13/15 на Челябинском тракторном заводе.

Автор хорошо владеет основами теории ДВС, умеет обоснованно выбрать существующие математические модели, наиболее рационально (по соотношению точность/трудоемкость) подходящие для решения тех или иных расчетных задач, и адаптировать их для решения научных задач диссертационного исследования, внося элементы научной новизны. Достоинством диссертации является то, что автор постоянно сравнивает свои результаты с результатами других исследований и экспериментальными данными, проверяет обоснованность подходов и допущений, четко формулирует ограничения и критерии принятия решений.

В *третьей главе* дано описание объекта и методики экспериментальной части исследования, применяемых приборов и оборудования, выполнена оценка точности измерений.

Экспериментальное исследование проведено автором с целью оценки адекватности математических моделей компонентов. Для этого была синтезирована тестовая имитационная модель, соответствующая макетному образцу КГУ, выполнена её настройка по результатам ранее проведенных экспериментальных исследований первичного двигателя типа 4ЧН15/20.5.

Методика натурных испытаний составлена с соблюдением требований действующих нормативно-технических документов. Разработанный и изготовленный макетный образец КГУ отвечает задачам диссертационной работы. Точность приборов и характеристики оборудования обеспечивают достоверность результатов эксперимента.

В *четвертой главе* изложены результаты валидации тестовой имитационной модели с использованием экспериментальных данных, а также данных других исследователей, которые подтвердили адекватность разработанных автором методов и математических моделей. Испытания программного обеспечения выполнены в соответствии с действующими стандартами, они показали, что его функциональные возможности соответствуют заявленным требованиям, т.е. оно позволяет моделировать неустановившиеся, сопряженные, мультифизические процессы в системах и механизмах ДВС и КГУ. Отклик компонентов и имитационной модели в целом на изменение граничных условий адекватен реальному двигателю.

В *пятой главе* приведены примеры использования разработанных математических моделей для решения конкретных инженерных задач. В том числе, обоснована расчетом и экспериментально подтверждена эффективность технического решения, заключающегося 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. Новизна технического решения подтверждена патентом на полезную модель.

Второе техническое решение, приведенное в главе – совершенствование конструкции системы сбросового тепла дизель-генератора ДГА-315, за счёт повышения коэффициента теплоотдачи сердцевин теплообменников организацией пристеночных турбулентных потоков с оптимальной ориентацией. В результате КПД системы был повышен с 54 % до 70 %.

Таким образом, автор продемонстрирован навыки использования теоретических разработок для решения практических задач и дополнительно подтвердил адекватность математических моделей.

В конце диссертации приводятся основные *результаты* исследования и *выводы*. Они конкретны, соответствует задачам исследования, подтверждены экспериментальными и расчетными данными, приведенными в работе. Автором намечены пути продолжения работ по теме исследования.

*Достоверность и обоснованность* результатов исследования подтверждается экспериментальными данными, полученными с использованием современного стендового оборудования, методик испытаний, соответствующих нормативно-техническим документам, оценкой точности измерений, применением апробированных математических моделей, сравнением полученных результатов с данными других исследователей.

*Научная новизна.* Научной новизной обладают разработанные диссертантом и основанные на компонентном подходе методы имитационного моделирования ДВС произвольной структуры учитывающие особенности их функционирования в составе КГУ и отличающиеся от известных:

- декларативным подходом при математической формализации компонентов и процессов в ДВС и КГУ;
- использованием ненаправленных связей между компонентами ДВС и КГУ при синтезе имитационных моделей;
- граничными условиями, отражающими особенности режимов функционирования КГУ с ДВС в составе автономных систем энергоснабжения.

Новизна научных результатов исследований, представленных автором на защиту, отражена в выводах.

### **3. Практическая ценность результатов и реализация диссертационной работы**

*Практическую ценность* имеют:

- программное обеспечение для имитационного моделирования КГУ с поршневым ДВС;
- теплообменник системы утилизации тепла двигателя в системе охлаждения и смазки ДВС в общем корпусе, позволяющий упростить конструкцию энергоустановки при сохранении стабильных показателей температуры масла и охлаждающей жидкости двигателя.

Рекомендации, сформулированные в ходе исследования, могут быть использованы при модернизации серийных и создании новых модификаций поршневых ДВС для средств малой энергетики, создании программного обеспечения для расчета ДВС, на предприятиях и в научно-исследовательских организациях отрасли двигателестроения, учебных заведениях.

Результаты диссертационной работы используются в ООО «ЧТЗ-Уралтрак» и Южно-Уральском государственном университете. Внедрение подтверждено актами.

#### 4. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано 12 научных статей, в том числе: 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство на программу для ЭВМ. Основные результаты диссертации изложены с достаточной полнотой.

При написании диссертации соискатель давал ссылки на авторов и источники, откуда он заимствовал материалы или отдельные результаты, а при использовании разработок, выполненных с соавторами, отмечал это в диссертации.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

#### 5. Замечания по работе

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-Кутта, 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. Почему автор не использовал существующие более точные феноменологические модели, например, А.С. Кулешова или Х. Хирояшу?

#### 6. Заключение

Подводя итог сказанному выше можно заключить, что диссертация Гимазетдинова Руслана Раифовича «Разработка методов имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе компонентного подхода в составе когенерационных энергетических установок» является законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, в ходе которой решена значимая научная задача – разработаны и научно

обоснованы методы имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания в составе когенерационных энергетических установок, что будет способствовать повышению их технического уровня и конкурентоспособности.

Высказанные замечания не снижают научной и практической ценности исследования. Результаты работы имеют научную новизну, теоретическую и практическую значимость, свидетельствуют о способности автора самостоятельно вести научную работу, ставить и решать сложные научные и технические задачи.

На основании изложенного считаю, что работа соответствует критериям п. 9...14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (редакция от 01.10.2018) в отношении требований, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор – Гимазетдинов Руслан Раифович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели.

Заведующий кафедрой Автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет»

кандидат технических наук (специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели), доцент



Руднев Валерий Валентинович

«9» 12 2019 г.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ:  
СПЕЦИАЛИСТ ОК

Адрес: 454080 г. Челябинск, пр. Ленина, 69  
Телефон: +7 (351) 2105 484  
Адрес электронной почты: rudnevvv@mail.ru