

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Гимазетдинова Руслана Раифовича

«Разработка методов имитационного моделирования поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе компонентного подхода в составе когенерационных энергетических установок», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели

1. Актуальность темы исследования

Когенерационные энергетические установки (КГУ) с поршневыми ДВС (ПДВС) занимают важное место в энергетике. КГУ характеризуются сложностью протекающих в них процессов и многообразием конструктивных решений. При проектировании и совершенствовании КГУ нужны расчеты на ЭВМ их функционирования в переходных процессах, для чего требуются экономичные модели процессов в КГУ как сложных технических системах. Построение же и применение адекватных моделей процессов для расчетов объектов подобных классов все еще представляет проблему.

Поэтому актуальны исследования, нацеленные на отработку библиотек экономичных моделей и методов расчета энергоустановок, которые обеспечивали бы приемлемую и стабильную точность результатов.

Диссертация Гимазетдинова Р.Р. стоит в ряду таких исследований.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Процессы в КГУ различных структурных схем, включая процессы различной природы в подсистемах КГУ, невозможно описать в рамках одной универсальной модели. Реализацию на ЭВМ требуемых моделей и расчетов по ним обеспечивает лишь «компонентный» подход и соответствующие методы (так называемого «имитационного моделирования»). Для расчетов КГУ как класса объектов, для которых существенны переходные процессы, включая процессы пуска, важна адекватность учета нестационарных процессов в целом ряде систем. Поэтому функционирование таких объектов можно представлять в расчетах лишь моделями невысокой детализации, используя декомпозицию КГУ и их составных частей на «подмодели», описывающие процессы в КГУ в ряде физических аспектов (предметных областей, «доменов»).

Но и при применении таких подходов описание затруднено различиями в масштабах времени процессов в системах и механизмах КГУ и, например, необходимостью уточнять по экспериментальным данным такие модели, по необходимости неполные. Исследование моделей составных частей энергоустановок – трудоемкий процесс. Здесь критически важны методология и инструменты, облегчающие и исследователю и расчетчику построение

развернутых моделей объектов, набранных из моделей их составных частей, «калибровку» и далее применение отработанных моделей (как компонентов) в других проектах.

Как методологический подход в диссертационной работе принято имитационное моделирование, понимаемое как методология разработки сложных моделей сложных систем, на основе подмоделей составных частей системы, гибко объединяемых в составе единой модели объекта с достаточно произвольной структурой.

В качестве технического средства реализации моделей выбран язык программирования *Modelica* – специализированный язык описания моделей, предполагающий отделение модели от алгоритма решения ее уравнений, и имеющий статус промышленного стандарта. Выбор методологии и технологии моделирования позволяет устойчиво развивать библиотеки моделей компонентов, сосредотачивая усилия именно на совершенствовании моделей и методов решения по ним прикладных задач. Т. е. выбранная технология обоснованна; она эффективна для моделирования разных объектов и режимов их работы, а также для разработки методов и методик моделирования (включая, в принципе, и создание «цифровых двойников» экземпляров объектов).

Вынесенные на защиту научные результаты исследования – методы имитационного моделирования ПДВС в составе КГУ произвольной структуры с различными конструктивными решениями и с учетом особенностей функционирования.

В рамках компонентного подхода в работе обоснованы, описаны и реализованы методы:

- многоуровневой декомпозиции ПДВС в составе КГУ;
- математической формализации компонентов;
- синтеза компонентных имитационных моделей ПДВС в составе КГУ.

В расчетно-экспериментальной части работы эти методы, на основе разработанных моделей составных частей КГУ, применены к конкретному объекту с целью валидации моделей и методов и выработки рекомендаций по применению результатов исследования.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов основана, с одной стороны, на использовании в разработанных моделях элементов КГУ в принципе известных и зарекомендовавших себя подходов к описанию необходимых аспектов физических процессов в двигателях и энергетических установках. С другой стороны, обоснованным применением методологии и инструментария, в рамках которых соискателем был применен рациональный подход к формализации при разработке методов декомпозиции объекта, моделей и методов сопряжения моделей компонентов в рамках единой имитационной модели.

Достоверность результатов подтверждена валидацией математических моделей и ПО с использованием данных экспериментальных исследований ПДВС и макетного образца

КГУ, применением аттестованного в установленном порядке испытательного оборудования и методов стендовых испытаний, соответствующих действующим нормативно-техническим документам, сопоставлением результатов с данными других исследователей.

Научные результаты работы, вынесенные на защиту как методы имитационного моделирования, являются новыми. Действительно, впервые предложены и расчетно-экспериментально исследованы методы имитационного моделирования на основе декларативного описания мультидоменных моделей и методов их сопряжения для расчетов на ЭВМ процессов в КГУ в переходных процессах, включая пуск.

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Полученные результаты являются значимыми для науки и практики.

Принципы имитационного моделирования адаптированы и применены ПДВС в составе КГУ с учетом особенностей функционирования таких объектов в переходных процессах. Представлены, в рамках принятого декларативного подхода к моделированию, формализованные описания моделей составных частей указанных технических систем, и условий их сопряжения для построения корректных алгоритмов расчета. Результаты в целом дают возможность решения широкого спектра проблем, связанных с созданием и совершенствованием КГУ. Основные результаты работы опубликованы в периодической печати, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК, и докладывались на всероссийских и международных научно-технических конференциях.

Разработанная компьютерная модель КГУ была применена к решению соответствующих задач, в которых выполнена верификация по результатам экспериментальных исследований макетного образца КГУ и первичного ПДВС, т. е. методология моделирования прошла апробацию, включая этап разработки технических решений по совершенствованию КГУ. Разработано программное обеспечение для имитационного моделирования когенерационной энергетической установки с поршневым двигателем внутреннего сгорания, которое может быть использовано при решении инженерных задач по созданию и совершенствованию ПДВС и КГУ.

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Заслуживают внимания приведенные в работе сведения о реализации моделей составных частей (компонентов) энергоустановок в форме библиотеки моделей. Расширение библиотеки компонентов и, возможно, добавление дополнительных функций для поддержки расчетных процедур калибровки моделей на разных уровнях иерархии (и т. п.), отвечало бы цели и задачам применения данной прикладной разработки к проектированию и совершенствованию КГУ с ПДВС.

6. Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Таким образом, в результате исследования в рамках выбранного соискателем методологического подхода и инструментария:

- созданы «мультидоменные» математические модели компонентов КГУ с ПДВС и связей между ними для моделирования КГУ с ПДВС в процессах пуска и в переходных процессах;

- разработаны методы сопряжения моделей компонентов КГУ произвольной структуры, описывающих процессы различного масштаба времени на основе теории ненаправленных графов связей;

- выполнена компьютерная реализация моделей компонентов и связей между компонентами («декларативными» языковыми средствами).

В расчетно-экспериментальной части разработанное ПО прошло проверку (валидацию); показана адекватность результатов расчетов неустановившихся процессов в ПДВС и КГУ.

Применение принятых методов декларативного моделирования процессов в КГУ и разработанных в их рамках моделей (судя и по их описаниям, и по результатам валидации) получили обоснование. С учетом выполненной валидации моделей (в расчетно-экспериментальной части исследования), все основные результаты и выводы диссертации подтверждены экспериментом, а исследование завершено.

7. Оценка содержания и оформления диссертации и научной работы в целом

По содержанию диссертации считаю необходимым сделать замечание.

Так, 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 – это совершенно отдельный аспект или этап моделирования, на котором применимы те или иные специфические подходы. 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.

Других замечаний к изложению в диссертации положений научной работы нет.

Работа представляется исследованием, выполненным на актуальную тему, достаточным по объему и по степени обоснованности научных положений, в ходе которого получены новые результаты.

Диссертация и автореферат написаны хорошим техническим языком, достаточно иллюстрированы и позволяют адекватно оценить основное содержание и результаты работы.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Таким образом, диссертация Гимазетдинова Р. Р. является научно-квалификационной работой, в которой принципы имитационного моделирования адаптированы и апробированы применительно к процессам в поршневых двигателях, работающих в составе когенерационных установок, что имеет существенное значение для развития страны и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели.

Официальный оппонент

д. т. н., профессор

и. о. заведующего кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания»

ФГБОУ ВО «УГАТУ»

Р.Д. Еникеев

10.12.19

450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

Тел. +7 (347) 273-7927, office@ugatu.ru

