

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ганджи Тараса Викторовича

«Развитие метода компонентных цепей для реализации комплекса программ моделирования химико-технологических систем», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы. Диссертационная работа Ганджи Т.В. посвящена проблеме автоматизации вычислительного эксперимента на основе математических моделей сложных многокомпонентных технических систем.

В течение последних десятилетий автоматизации вычислительного эксперимента уделяется значительное внимание в связи с потребностью проектирования и оптимизации сложных технических систем различного назначения, в том числе – химико-технологического оборудования. Элементы общей технологии математического моделирования разработаны и поддерживаются программно-техническими решениями. Однако эта область весьма широка, и исчерпывающего решения проблемы, по-видимому, в ближайшее время ожидать не следует. Широко распространённые универсальные вычислительные комплексы, применяемые для вычислительного эксперимента, недостаточно учитывают специфику частных проблемных областей, и поэтому их использование конечными пользователями встречает затруднения. В то же время закрытость кода таких компьютерных программ не даёт возможности адаптировать их к конкретным условиям применения и тем самым усовершенствовать технологию решения частных задач. Важным аспектом проблемы является потребность в программном обеспечении отечественной разработки.

Поэтому диссертация Т.В. Ганджи, ставящая целью создание технологии исследования и проектирования сложных химико-технологических систем на основе вычислительного эксперимента, весьма актуальна для науки и производства.

Содержание работы. Диссертационная работа общим объемом 350 страниц основного текста, содержащая 166 рисунков и 7 таблиц, состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 211 наименований и 18 приложений на 107 страницах. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Во **введении** отражена актуальность темы диссертационной работы, представлена основная характеристика работы, поставлены цель и задачи

исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость результатов и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассматриваются вопросы формализованного представления сложных управляемых систем применительно к технологическим объектам газовой промышленности. Сформулированы основные задачи, решаемые с использованием вычислительного эксперимента, и изложен обобщённый алгоритм вычислительного эксперимента.

Во **второй главе** разработана методика построения структурных и функциональных моделей сложных управляемых химико-технологических систем на основе развития метода компонентных цепей, включающая графическую нотацию для обозначения элементов структурной модели и основных алгоритмических конструкций. Основными результатами, полученными лично автором диссертации, являются: обобщение метода на случай многоуровневых моделей, включение в качестве отдельных элементов измерительных и исполнительных устройств и достаточно полная классификация визуальных элементов проблемно-ориентированного пользовательского интерфейса.

В **третьей главе** структурно-функциональные модели в виде компонентных цепей исследованы методами дискретной математики для определения условий, при которых произвольная схема в нотации, введённой в главе 2, является допустимой с точки зрения реализуемости алгоритма вычислительного эксперимента. Введены и классифицированы составляющие связей между компонентами. На основе выявленных свойств и требований сформулировано понятие обобщённого компонента как основного структурного элемента компонентной цепи. Это понятие конкретизировано в частных видах компонентов, ориентированных на задачи проблемной области и реализующих численные методы решения модельных уравнений, описывающих физико-химические процессы в каналах, теплообменниках, сепараторах, смесителях и абсорберах. Разработана методика автоматизированного построения входных данных для обработки описания модели универсальным вычислительным ядром, в создании которого принимал участие автор диссертации.

В **четвёртой главе** разработан специализированный язык программирования МАК для реализации вычислительных программ с использованием развиваемого метода компонентных цепей. Описан синтаксис языка и основные концепции его семантики. Следует отметить наличие в разработанном языке, помимо обычных структурных языковых средств, также функций расширенного представления структур проблемно-

ориентированных данных. Рассмотрены основные вопросы представления программ на языке МАК в виде компонентных цепей.

В **пятой главе** разработанные средства описания моделируемых объектов и вычислительных алгоритмов дополнены «виртуальными приборами» – компонентными цепями для имитации реальных технических устройств, объединяющими алгоритмическое описание функций устройства и визуальный пользовательский интерфейс. Предложена общая методика формирования виртуального прибора, позволяющая пользователю расширять набор моделируемых устройств, и описаны реализованные примеры.

В **шестой главе** описан разработанный комплекс программ моделирования химико-технологических систем, включающий редактор графических представлений многоуровневых компонентных цепей, интерпретатор языка моделирования, вычислительное ядро, функциональные компоненты и редактор графического интерфейса. Комплекс программ поддерживает законченную технологию вычислительного эксперимента, начиная от задания визуального представления моделируемого объекта, включая автоматизированный анализ математической модели и генерацию алгоритмов вычислений и заканчивая визуальным представлением результатов в пользовательском интерфейсе и построение отчётов.

В **седьмой главе** рассмотрены примеры практической реализации вычислительных экспериментов с использованием описания моделируемых объектов – технических систем – в виде многоуровневых компонентных цепей. Подробно разобраны основные этапы вычислительного эксперимента и технология его применения к исследованию и проектированию сложных управляемых технических систем: разработка и отладка сценариев управления, проектирование (на примере теплообменного аппарата), параметрический анализ модели с целью определения точки росы, оптимизация режимов абсорбера. Отдельного упоминания заслуживает построение на основе разработанной технологии имитационных тренажёров для обучения операторов технологического оборудования.

В **заключении** сформулированы основные результаты выполненного исследования и выводы по работе. В **приложения** вынесены тексты и интерфейсы компьютерных программ и данные вспомогательного характера, представленные в виде таблиц и рисунков, а также сведения об использовании результатов в промышленности и в образовательном процессе.

Работа написана ясным языком с использованием профессиональной терминологии и качественно оформлена.

Оценка научной новизны, достоверности и практической значимости результатов.

Наиболее существенным результатом диссертации является разработка новой технологии вычислительного эксперимента с использованием многоуровневых структурно-функциональных моделей сложных технических систем, ориентированной на задачи проектирования и управления химико-технологическим оборудованием и включающей набор методов и методик, программно-техническое обеспечение и образовательную составляющую.

Следующие результаты работы обладают **научной новизной**.

В области математического моделирования:

- разработана методика построения структурных и функциональных моделей сложных управляемых химико-технологических систем на основе развития метода компонентных цепей;
- определены условия реализуемости алгоритма вычислительного эксперимента, представленного в виде компонентной цепи;
- введены и классифицированы составляющие связей между компонентами цепи.

В области численных методов:

- разработана методика и алгоритм автоматизированного формирования систем разрешающих уравнений, в которых совмещаются алгебраические, интегральные и дифференциальные уравнения, описывающие процессы в отдельных элементах объекта на основе моделей различных классов – теоретических, полуэмпирических и регрессионных.

В области комплексов программ:

- разработан специализированный язык программирования для формального описания моделируемых систем и их элементов;
- разработан алгоритм и реализующая его программа для автоматической трансляции визуального представления многоуровневых компонентных цепей в интерпретируемую программу на разработанном языке программирования;
- разработан и практически апробирован комплекс программ для моделирования химико-технологических систем.

Практическая ценность диссертации заключается в возможности применения разработанной технологии вычислительного эксперимента при проектировании, исследовании и оптимизации сложных технических систем, применяемых в химико-технологической промышленности. Могут быть использованы: редактор исходных данных, в котором для расчётов сложных технических систем произвольной структуры в качестве исходных данных

объект расчёта представляется в виде многоуровневых компонентных цепей с использованием графической нотации; вычислительное ядро комплекса, позволяющее автоматически сформировать и решить уравнения, описывающие совместно протекающие физико-химические процессы; программные средства поддержки имитационного моделирования реального химико-технологического оборудования; методика подготовки исходных данных; методика дополнения программного комплекса новыми компонентами; методика проведения вычислительного эксперимента.

Практическая значимость диссертации подтверждена девятью актами о внедрении и двумя справками об использовании результатов диссертации, в том числе: шестью актами о внедрении программного обеспечения на промышленных предприятиях, актом апробации имитационной модели и двумя актами о внедрении в учебный процесс ФГБОУ ВО «Оренбургский гос. ун-т» и ФГАОУ ВПО «Северный (арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», а также актом об использовании комплекса программ при подготовке химиков-технологов в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Степень обоснованности выводов и рекомендаций. Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректным применением апробированных методов и постановок задач тепло- и массопереноса, системного анализа процессов химической технологии, дискретной математики, имитационного моделирования, структурного и объектно-ориентированного проектирования и программирования, и подтверждается сопоставлением результатов расчётов с данными, независимо полученными с использованием апробированных универсальных программных комплексов.

Автореферат даёт достаточно полное представление о диссертации и отражает её основные идеи и выводы. Основные положения и результаты исследования опубликованы в 7 монографиях и учебных пособиях, 47 научных статьях, в том числе в 19 изданиях, рекомендованных ВАК.

В качестве **замечаний** необходимо отметить следующее.

1. Численные методы, реализованные в вычислительном комплексе, описаны в основном тексте диссертации недостаточно полно, а большей частью вынесены в приложения. Это затрудняет оценку содержания работы.

2. Следовало бы уделить внимание вопросам совместимости численных схем уравнений, описывающих разномасштабные по времени процессы в элементах технологического оборудования. Так, в п. 3.4.5 в качестве численной схемы для уравнения теплопередачи использована явная

схема Эйлера, но неясно, из каких соображений необходимо выбирать шаг по времени. Не приведены оценки, подтверждающие сеточную сходимость.

3. В тексте диссертации встречаются неточности: производные по длине теплообменника в формуле (3.53) названы частными, в то время как рассматривается одномерная задача. В главе 1 названия п. 1.5 – 1.7 содержат выражение «автоматизированный эксперимент», в то время как речь идёт не о натурном, а о вычислительном эксперименте.

4. В описании структуры вычислительного комплекса не указано, какая из структурных единиц отвечает за трансляцию визуального представления компонентной цепи на язык, интерпретируемый вычислительным ядром.

5. Остаётся неясным, используются ли в вычислительных программах современные технологии параллельного программирования для многоядерных и многопроцессорных компьютеров.

6. Были бы уместными количественные оценки производительности разработанных вычислительных программ: число независимых переменных в типичной модели, число решаемых уравнений, требуемый объём памяти и время расчёта.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают оценку научной и практической значимости проведенного исследования, в результате которого создана и практически апробирована новая технология вычислительного эксперимента с использованием многоуровневых математических моделей сложных технических систем, что вносит существенный вклад в ускорение научно-технического прогресса в области математического моделирования и автоматизированного проектирования.

Содержание работы по области исследования соответствует паспорту специальности 05.13.18: п. 4. – Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента, п. 5 – Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента и п. 8 – Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий уровень, научную обоснованность и новизну программно-технических решений, доказательность изложения их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Диссертационная работа Ганджи Тараса Викторовича «Развитие метода компонентных цепей для реализации комплекса программ моделирования химико-технологических систем» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные программно-технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Тем самым диссертационная работа соответствует критериям раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335.

Автор работы, Ганджа Т.В., заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
заведующий научно-исследовательской лабораторией математического моделирования Новокузнецкого института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет» (НФИ КемГУ), доктор технических наук (01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры), профессор

09.11.17

Валерий Олегович Каледин

Контактная информация:
Россия, 654041, Кемеровская обл., г. Новокузнецк,
ул. Циолковского, д. 23
Тел: +7(3843)74-57-84, +7923-460-63-43
e-mail: vkaled@mail.ru
<http://nbikemsu.ru>

Подпись профессора Каледина В.О. удостоверяю:

Начальник кадровой службы



Е.А. Гардер