

В диссертационный совет Д 212.268.02  
ФГБОУ ВО «Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники»

### **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Кочергина Максима Игоревича на тему: «Методика и алгоритмы визуального моделирования непрерывных и дискретно-непрерывных физико-технических задач методом компонентных цепей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

#### **Актуальность диссертационной работы**

В настоящее время разработано большое количество программных комплексов для компьютерного моделирования различных технических систем и технологических процессов, что обусловлено различиями используемых подходов к моделированию и особенностей моделируемых процессов и систем. Программные комплексы, используемые для моделирования одних задач, оказываются непригодными или неэффективными для моделирования других. В то время как для технических систем характерна предопределённость структуры будущей модели, для физико-технических систем характерна вариативность структуры модели, связанная с выбранным уровнем абстракции (детализации) модели, а также поведенческая и структурная сложность моделируемых систем. Задачи, связанные с моделированием физико-технических систем, возможно отнести к физико-техническим задачам (ФТЗ). Развитие существующих методов моделирования, претендующих на универсальность, таких как метод многоуровневых компонентных цепей (ММКЦ), способствующих к увлечению числа классов моделируемых объектов, является актуальной задачей.

**Основное содержание диссертации представлено:** введением, 4 главами, заключением и приложениями. В первой главе даётся определение и классификация ФТЗ в сопоставлении с физическими и техническими задачами.

Проводится сравнительный анализ программных комплексов для моделирования и оцениваются их возможности для моделирования ФТЗ. **Во второй главе** предлагается алгоритм моделирования ФТЗ методом ММКЦ, опирающийся на разработанную методику многоаспектного анализа, описывается развитие языка ММКЦ, направленное на 1) моделирование дискретно-непрерывного поведения объектов с применением диаграмм состояний, 2) моделирование непрерывного поведения (а именно отображения физических свойств объектов в многоуровневых моделях и геометрических свойств их связей), 3) исследование табличных зависимостей, полученных в результате моделирования, методами аппроксимации. **В третьей главе** описывается разработанный комплекс программ, реализующий результаты исследования и предназначенный для моделирования ФТЗ и сопровождения аудиторного и внеаудиторного обучения моделированию ММКЦ. **В четвёртой главе** демонстрируются возможности разработанного комплекса программ на примере непрерывных, дискретно-непрерывных ФТЗ. **В заключении** приведены основные выводы по работе, **в приложениях** – дополнительные материалы и акты внедрения.

#### **Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные результаты и основные выводы.

#### **Научную новизну** диссертации составляют следующие положения:

1) Предложены алгоритм моделирования ФТЗ с использованием ММКЦ, обуславливающий перевод ФТЗ в формальное представление ММКЦ, и алгоритм формализации ФТЗ, позволяющий автоматизировать процедуру формализации их текстовых условий.

2) Разработаны единицы языка ММКЦ, позволяющие адекватно отражать структурные и физические свойства объектов в ФТЗ на более высоком уровне абстракции, а также единицы для моделирования дискретно-непрерывного поведения объектов, содержащие оригинальный алгоритм функционирования диаграмм состояний, расширяющих область их применения.

3) Предложен численный метод аппроксимации табличных результатов моделирования ФТЗ, позволяющий подбирать оптимальные коэффициенты приближающей функции произвольного вида.

4) Предложен алгоритм компенсации амплитудно-временной погрешности, позволяющий устранить погрешность дискретно-непрерывной системы, накапливаемую при переходе из одного дискретного состояния в другое.

#### **Научные положения, выносимые автором на защиту:**

1) Разработанный алгоритм многоуровневого моделирования ФТЗ обуславливает процедуру приведения ФТЗ к формату ММКЦ, а также позволяет автоматизировать формализацию текстовых условий ФТЗ. Разработанные единицы визуального языка ММКЦ представляют собой блоки высокого уровня абстракции, позволяющие упростить представление сложных моделей и снизить при этом размерность аналитической модели, решаемой вычислительным ядром среды моделирования.

2) Предложенные диаграммы состояний языка ММКЦ, осуществляют компенсацию амплитудно-временной погрешности дискретно-непрерывных моделей, при этом могут применяться для моделирования дискретного поведения не только для непрерывных моделей, представленных аналитически, но и для структурно-функциональных и схмотехнических моделей ФТЗ.

3) Предложенный численный метод аппроксимации позволяет подбирать коэффициенты для приближающей функции произвольного вида, обеспечивая выбор глобального минимума из ряда локальных минимумов отклонений значений приближающей функции от исходной.

4) Разработанный комплекс программ обеспечивает построение компьютерных моделей ФТЗ с применением ММКЦ и сопровождение аудиторной работы и самостоятельного изучения компьютерного моделирования с применением ММКЦ.

#### **Теоретическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы заключается в развитии языка моделирования ММКЦ для компьютерного моделирования непрерывных и

дискретно-непрерывных ФТЗ. Кроме того, в работе предложен метод аппроксимации табличных результатов моделирования, обеспечивающий поиск коэффициентов приближающей функции произвольного вида и нечувствительный к выбору начального приближения. Также разработаны алгоритмы формализации текстовых условий ФТЗ, открывающие возможности автоматизации перевода ФТЗ в модельное представление и алгоритм компенсации амплитудно-временной погрешности, снижающий погрешность дискретно-непрерывных моделей.

**Практическая ценность результатов** диссертационной работы состоит в том, что решена научно-техническая задача создания методики, алгоритма, эффективных и адекватных инструментальных средств компьютерного моделирования ФТЗ, позволяющих строить многоуровневые модели задач из готовых блоков. Результаты внедрения подтверждены 2 актами внедрения: на предприятии АО «Энергонефтемаш» и в образовательном процессе ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

#### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Полученные результаты обоснованы, а также экспериментально подтверждены путем сравнения с результатами, полученными в аналогичных программных комплексах. Результаты работы численных методов сравнивались с результатами, полученными другими «классическими» методами. Достоверность результатов работы разработанного программного комплекса обеспечено корректным использованием положений объектно-ориентированного программирования, а также подтверждено актами о его использовании в практике и образовательной деятельности.

#### **Апробация результатов работы**

Основные результаты исследования опубликованы в 32 печатных работах, в том числе в 3 статьях в журналах из перечня ВАК. Также получено 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

### **Соответствие содержания диссертации указанной специальности**

Тема диссертационной работы, полученные научные результаты и положения, выносимые на защиту, строго соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### **Список замечаний по диссертации и автореферату**

1) Для предложенного численного метода отсутствуют рекомендации по выбору начального приближения. Интерес также представляют количественные оценки работы данного метода.

2) Разработанный метод и программное обеспечение в отличие от существующих аналогов дает возможность декомпозиции поведения объектов на несколько уровней. Из текста диссертации сложно оценить какие преимущества получит пользователь системы от этой возможности.

3) В подразделе 2.3.2 описывается компонент «модель твёрдого тела» для моделирования поступательного движения и приводится пример его использования, однако в разделе 4.1 для аналогичной математической модели движения используется компонент «интерактивная математическая панель». Имеется ли различие в работе компонентов или они дублируют функционал друг друга?

4) В приложении Б «Диаграммы классов комплекса программ» помимо собственно диаграмм классов в нотации UML присутствуют блок-схемы алгоритмов функционирования предлагаемых компонентов диаграмм состояний, которые следовало расположить в главе 3 при описании комплекса программ.

Отмеченные недостатки не снижают научный уровень представленной работы, имеют непринципиальный характер и не затрагивают сущности основных положений, представленных к защите.

### **Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК**

Диссертационная работа М.И. Кочергина «Методика и алгоритмы визуального моделирования непрерывных и дискретно-непрерывных физико-

технических задач методом компонентных цепей» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной проблемы создания методики, алгоритмов и программного комплекса для визуального моделирования ФТЗ.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 30.07.2014), а её автор – Кочергин Максим Игоревич – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заведующий кафедрой – руководитель  
отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры  
Инженерной школы ядерных технологий  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
д-р техн. наук, доцент



А.Г. Горюнов

05.12.2019

Горюнов Алексей Германович, доктор технических наук, доцент, телефон и адрес: рабочий телефон +7 (3822) 60-63-41, факс +7 (3822) 42-39-34, 634049, г. Томск, ул. 2-я Рабочая, дом 15, кв. 26, e-mail: alex1479@tpu.ru, alex1479@mail.ru

*Защитил докторскую диссертацию по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (атомная промышленность)» в 2012 г.*

*Научная специализация: 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки), 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».*

Сведения об организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, Тел. +7 (3822) 60-63-33, Факс. +7 (3822) 56-38-65.

Подпись Горюнова А.Г. удостоверяю

Ученый секретарь ТПУ



О.А. Ананьева