



Директор Института физики прочности и  
материаловедения Сибирского отделения

Российской академии наук

доктор технических наук

Колубаев Е.А.

26.11.197.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **Кочергина Максима Игоревича**  
«Методика и алгоритмы визуального моделирования непрерывных и  
дискретно-непрерывных физико-технических задач методом компонентных  
цепей», представленной на соискание учёной степени кандидата технических  
наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ

### Актуальность работы

В различных областях науки и техники находят широкое применение модели явлений и процессов, которые можно обобщить под термином физико-технических задач (ФТЗ). Сложность таких задач обусловлена особенностями структуры, переменным составом моделируемых объектов, взаимодействием объектов различной природы, а также сложностью их поведения в целом. Следствием сложности ФТЗ является отсутствие априорной информации о структуре соответствующих моделей. Наличие таких факторов затрудняет построение моделей ФТЗ и вызывает необходимость поэтапной нисходящей декомпозиции моделируемой системы на подсистемы, которые целесообразно представлять в виде готовых компонентов высокого уровня абстракции и при необходимости детализировать их. Развитие методов и комплексов программ многоуровневого компьютерного моделирования ФТЗ, позволяющих учитывать их вышеописанные особенности, направленное на достижение исследовательских, образовательных целей или функциональное

проектирование систем, является актуальной задачей. Разработка и изучение многоуровневых компьютерных моделей ФТЗ позволяет создавать модели систем управления соответствующих объектов, решать задачи определения их оптимальных параметров и исследовать зависимости переменных модели от параметров объекта. Использование визуального подхода к моделированию позволяет строить наглядные представления из блоков высокого уровня абстракции, соответствующих структурной схеме сложных объектов и инкапсулирующих их свойства.

### **Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

1. Предложен новый алгоритм моделирования ФТЗ, включающий в себя процедуру формализации текстовых условий ФТЗ с применением методики многоаспектного анализа, которая позволяет автоматизировать процесс перевода естественно-языкового описания задачи в компонентное описание в соответствии с формализмом метода многоуровневых компонентных цепей (ММКЦ).

2. Разработаны единицы визуального языка ММКЦ, позволяющие на высоком уровне абстракции адекватно и наглядно отражать физические и геометрические свойства моделируемых объектов, а также их дискретно-непрерывное поведение в их многоуровневых компьютерных моделях. Повышение уровня абстракции при этом позволяет избежать ошибок, возникающих при построении моделей сложных систем.

3. Предложен новый алгоритм компенсации амплитудно-временной погрешности, накапливаемой при смене дискретных состояний моделируемых объектов в их компьютерных моделях.

4. Предложен новый численный метод аппроксимации табличных результатов моделирования ФТЗ, позволяющий находить коэффициенты приближающей функции, обеспечивающие глобальный минимум суммы квадратов отклонений исходной табличной функции от приближающей.

### **Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов**

**Теоретическая значимость работы** обеспечивается решением научно-технической задачи создания методики, алгоритма и инструментальных средств компьютерного моделирования ФТЗ, позволяющих строить их многоуровневые модели из блоков высокого уровня абстракции с пониженной погрешностью.

**Практическая значимость результатов** диссертационной работы обусловлена возможностями создания на их основе виртуальной лаборатории моделирования ФТЗ, а также возможностью использования разработанной методики, алгоритмов и программного комплекса для разработки и исследования компьютерных моделей технических устройств и приборов различной степени сложности, создания и функционального проектирования систем управления этими приборами и устройствами.

Практическая значимость результатов исследования подтверждается следующими примерами их использования:

1. в АО «Энергонетфемаш» (г. Омск) для определения оптимальных эксплуатационных характеристик нефтедобывающей установки и построения алгоритма работы системы управления штанговым глубинным насосом;
2. в учебном процессе ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»;
3. в ходе выполнения научно исследовательских работ по федеральной целевой программе № 14.574.21.0157 от 26.09.2017 г. и гранту РФФИ №16-37-00027, 2016–2017 г.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы для моделирования ФТЗ в исследовательских целях и для функционального проектирования систем управления технических устройств и приборов. Предложенные в работе методика, алгоритмы и комплекс программ

могут быть использованы на высокотехнологичных предприятиях и в образовательном процессе высших технических учебных заведений.

### **Соответствие темы диссертации научной специальности**

В диссертации М.И. Кочергина предложены методика, алгоритмы визуального моделирования и комплекс программ для моделирования непрерывных и дискретно-непрерывных ФТЗ, базирующиеся на ММКЦ. В частности, в работе созданы и реализованы следующие алгоритмы: алгоритм многоуровневого компьютерного моделирования ФТЗ, численный алгоритм компенсации амплитудно-временной погрешности, алгоритм функционирования диаграмм состояний на основе языка ММКЦ, численный алгоритм аппроксимации табличных результатов численного моделирования, алгоритм формализации словесного портрета ФТЗ. Корректность разработанного комплекса программ продемонстрирована на ряде компьютерных моделей.

Таким образом, тема диссертационной работы и полученные М.И. Кочергиным результаты являются оригинальными и соответствуют пп. 1, 2, 4, 8 области исследований паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

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

Защищаемые положения и выводы диссертационной работы М.И. Кочергина имеют хорошую аргументацию. Достоверность полученных результатов обоснована и подтверждена использованием современных технологий моделирования и программирования, корректностью применяемых методов, а также успешным внедрением полученных результатов в практическую работу. Результаты диссертационного исследования не противоречат данным, приводимым в работах других исследователей, опубликованы в рецензируемых российских журналах, а также апробированы на международных и всероссийских конференциях.

## **Соответствие требований по выполнению, оформлению и апробации диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка используемой литературы из 140 наименований и 4 приложений. Общий объём работы составляет 242 страницы (основная часть – 185 страниц, приложения – 57 страниц) и включает 101 рисунок и 12 таблиц.

**В первой главе** рассматриваются ФТЗ как объект моделирования, даётся их классификация, формулируются требования к инструментальным средам для их адекватного моделирования, проводится обзор систем моделирования и их оценивание для целей моделирования ФТЗ.

**Во второй главе** предлагается разработанный алгоритм моделирования ФТЗ методом ММКЦ, описываются разработанные единицы языка ММКЦ для моделирования физических, геометрических свойств объектов и их дискретно-непрерывного поведения в ФТЗ. Описывается процедура компенсации амплитудно-временной погрешности, реализованной в диаграммах состояний языка ММКЦ, а также численный метод для аппроксимации табличных результатов моделирования функцией произвольного вида, основанный на поисковых методах решения задач одномерной и многомерной оптимизации.

**В третьей главе** описывается комплекс разработанных программ для моделирования ФТЗ и обучения их компьютерному моделированию, исследуются возможности автоматизации перевода текстовых условий ФТЗ из естественно-языкового представления в информационную модель согласно формализму ММКЦ.

**В четвёртой главе и приложении А** демонстрируются примеры моделей ФТЗ, построенных с применением разработанного комплекса программных инструментов.

**В приложении Б** в нотациях UML приводится описание разработанного комплекса программ: библиотеки моделей компонентов для моделирования ФТЗ, модуля обучения моделированию ФТЗ и информационной системы управления виртуальной лабораторией моделирования ФТЗ. **В приложении В**

представлены копии актов внедрения результатов исследования. В приложении Г приведены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

### **Замечания по работе**

1. В параграфе 2.3.3 при описании предлагаемого метода аппроксимации отсутствует иллюстрация процесса наложения сетки на многомерную поверхность, что затрудняет понимание. Не приведены указания по выбору начального приближения для поиска коэффициентов аппроксимирующей функции.

2. Возможность использования разработанных диаграмм состояний языка ММКЦ в качестве управляющих конструкций продемонстрирована для моделей объектов, располагаемых на *C*-слое, однако возможность их использования для управления алгоритмическими цепями *L*-слоя не подкреплена каким-либо примером.

3. На стр. 32 при описании методики многоаспектного анализа ФТЗ указано о наличии четырёх взаимосвязанных аспектов рассмотрения ФТЗ, однако далее по тексту приводятся только три: физико-математический, алгоритмический и компонентный.

4. На стр. 111 на рис. 3.1 не представлено описание большинства связей между элементами разработанного комплекса программ, не расшифрована аббревиатура «АКЦ».

5. В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки.

### **Заключение**

Отмеченные недостатки не снижают высокий научный уровень представленной работы, имеют непринципиальный характер и не затрагивают сущности основных положений, представленных к защите. Автореферат диссертации достаточно полно отражает её основное содержание.


В целом диссертация Кочергина Максима Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании

выполненных автором исследований решена научная проблема создания методики, алгоритма и инструментальных средств компьютерного моделирования ФТЗ, позволяющих строить их многоуровневые модели из блоков высокого уровня абстракции с пониженной погрешностью.

Диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого 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.

Результаты диссертационной работы Кочергина М.И. и проект заключения по ней были обсуждены на научном семинаре лаборатории компьютерного конструирования материалов ИФПМ СО РАН, Протокол № 7 от 25 ноября 2019 г.

Председатель семинара \_\_\_\_\_  Алексей Юрьевич Смолин  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Секретарь семинара \_\_\_\_\_  Галина Максимовна Еремина  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук

Сайт: <http://www.ispms.ru>

Адрес: 634055, г. Томск, проспект Академический, 2/4

Телефон: (3822) 491-881

Электронная почта: [root@ispms.tomsk.ru](mailto:root@ispms.tomsk.ru)



«ЗАВЕРЯЮ» УЧЕНЫЙ  
СЕКРЕТАРЬ ИФПМ СО РАН  
И. МАТОЛЫГИНА