

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ганджи Тараса Викторовича на тему:
«Развитие метода компонентных цепей для реализации комплекса программ моделирования химико-технологических систем», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность диссертационной работы

В настоящее время математическое моделирование является одним из эффективных методов изучения различных систем, в том числе химико-технологических систем. В последнее время активно развивается огромное количество программных комплексов для исследования различных технологических процессов, которые позволяют исследовать физические, химические и другие аспекты процессов, выполнять задачи по проектированию оборудования и оптимизации. В последнее время использование подобных комплексов с выполнением на них вычислительных экспериментов часто называют компьютерным моделированием. Среди этого огромного количества программных комплексов компьютерного моделирования существует достаточно ограниченное количество комплексов, позволяющих решать задачи компьютерного моделирования химико-технологических систем в динамике с отражением физики и химии процессов. Следует отметить, что подобные пакеты имеют высокую актуальность при решении задач автоматизированного проектирования АСУ ТП, разработки тренажерных комплексов и т.д. в части математического обеспечения, особенно алгоритмов управления, оптимального управления, оптимизации в режиме реального времени. Разработка эффективных методов построения указанных компьютерных моделей и их реализация являются в настоящее время сложной научно-технической проблемой, решение которой имеет высокую актуальность для разработки сетевых компьютерных тренажеров операторов-технологов и реализации интеллектуальных систем управления технологическими

процессами, протекающими в управляемых химико-технологических системах (ХТС).

Основное содержание диссертации представлено: введением, 7 главами, заключением и приложениями. **В первой главе** проводится системный анализ сложных технических управляемых систем (СТУС) с целью постановки задач компьютерного моделирования и последующим построением их компьютерной модели. Сформулированы задачи исследования и функционального проектирования СТУС, для решения которых целесообразно применение компьютерных моделей. **Вторая глава** содержит теоретическое обоснование и основные положения многоуровневой интерпретации метода компонентных цепей, а также сформирована и обоснована структура многоуровневой компонентной цепи. **В третьей главе** рассмотрены вопросы компьютерного моделирования химико-технологических систем газовой промышленности. Для построения и анализа их компонентных цепей предложено формализованное представление компонентов с неоднородными векторными связями, на основе которого разработана обобщенная модель химико-технологического компонента. **В четвертой главе** рассмотрено построение и реализации языка моделирования алгоритмических конструкций (МАК), предназначенного для построения сценариев проведения вычислительного эксперимента и решения на его основе задач исследования и функционального проектирования СТУС. **В пятой главе** приводятся основные способы представления языка виртуальных инструментов и приборов, представляющие собой визуальные компоненты для формирования виртуальных приборов и панелей визуализации и интерактивного управления на визуальном уровне многоуровневых компонентных цепей. Глава содержит описание многоуровневой структуры виртуального прибора (ВП), его формализованное представление в формате многоуровневых компонентных цепей, а также алгоритм его формирования. Приводится описание методики формирования функциональных блоков ВП, а также исследование погрешности виртуального прибора. **В шестой главе** рассмотрены вопросы построения и реализации комплекса программ моделирования химико-технологических систем, описание алгоритмов функционирования её основных модулей, а также описание основных интерфейсных классов,

позволяющих модулям обмениваться информацией, а также рассмотрены алгоритмы построения и функционирования алгоритмических компонентных цепей, между компонентами которых передаются данные различных типов. Также в главе описаны новые численные методы, повышающие эффективность вычислительного ядра для анализа ХТС. **В седьмой главе** представлены описания алгоритма решения задач исследования и функционального проектирования химико-технологических систем с использованием многоуровневых компонентных цепей, а также перечень построенных многоуровневых компьютерных моделей, позволяющих автоматизировать их решение. **В заключении** приведены основные выводы, **в приложении** – дополнительные материалы и акты внедрения.

Диссертационная работа имеет четкую и логичную структуру, подробно иллюстрирована.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные результаты и основные выводы. В равной мере ему присущи и приведенные в настоящем отзыве замечания к качеству представления материалов по выполненному исследованию.

Научную новизну диссертации составляют следующие положения:

1) Предложен и обоснован новый подход к автоматизированному решению задач исследования и функционального проектирования сложных технических управляемых систем, заключающийся в многократном проведении вычислительного эксперимента над компьютерными моделями ХТС при варьировании значений параметров их компонентов согласно сценарию решения задачи, формируемому пользователем в графическом виде и связанному с графической панелью визуализации и интерактивного управления параметрами исследуемой модели;

2) Осуществлено развитие метода компонентных цепей, позволившее дать возможности формирования и анализа многоуровневых компонентных цепей ХТС, которые содержат имитационные модели сценариев проведения вычислительных экспериментов, включающие функциональные модели

устройств управления и визуальные модели панелей визуализации и интерактивного управления;

3) Создан новый язык виртуальных инструментов и приборов, представленный набором визуальных компонентов с едиными программно-алгоритмическими принципами их функционирования, и обеспечивающий формирование и моделирование виртуальных приборов, обладающих визуальными панелями отображения результатов и интерактивного управления параметрами модели. В отличие от существующих моделей нелинейные модели виртуальных приборов не входят в общую систему уравнений исследуемой ХТС, что позволяет включать в них блоки численно-алгоритмического анализа результатов моделирования с целью их подготовки к визуализации, что позволило увеличить точность расчета значений первичных переменных модели ХТС и значительно расширить возможности численно-алгоритмической обработки результатов моделирования;

4) Предложен схемотехнический язык моделирования ХТС и разработаны программно-алгоритмические средства в виде интерпретатора языка ХТС и универсального вычислительного ядра, отличающиеся от известных тем, что в основу их работы положены новые алгоритмы формирования вычислительной модели ХТС с неоднородными векторными связями и новый численный метод ее явно-неявного анализа, основанный на непосредственном определении значений единственной неопределенной переменной, входящей в уравнение, на этапе их формирования. Повышение быстродействия алгоритма обеспечивается снижением общего числа элементарных операций, выполняемых в ходе формирования и решения неполной системы уравнений, а повышение его точности основано на отсутствии необходимости задания начальных условий;

5) Сформированы лексемы и грамматические правила языка моделирования алгоритмических конструкций, отличительным признаком которого является возможность построения функциональных моделей устройств управления и имитационных моделей сценариев проведения экспериментов, включающих этапы первичной и циклической параметризации моделей ХТС, получения и численной обработки результатов их анализа. Предложена и реализована система отображения лексем языка моделирования алгоритмических конструкций в формат

алгоритмических компонентных цепей, взаимосвязанных с моделью ХТС, и реализован алгоритм передачи сообщений с данными различных типов между компонентами логического уровня многоуровневой компонентной цепи СТУС;

6) Сформирована структура и разработан комплекс программ «Среда моделирования химико-технологических систем», основанный на развитии метода компонентных цепей. В отличие от существующих комплексов программ он включает в себя построенные на единых принципах метода компонентных цепей и объектно-ориентированного программирования средства математического, имитационного и визуального моделирования, обеспечивающие решение задач исследования и функционального проектирования СТУС;

7) Предложена и спроектирована новая многоуровневая структура библиотеки моделей компонентов, основанная на принципах объектно-ориентированного программирования, позволяющая хранить и использовать в многоуровневых компонентных цепях компоненты трех подязыков языка многоуровневого компьютерного моделирования. Для автоматического формирования и исследования новых моделей компонентов реализованы интерактивные панели, содержащие в своем составе редактор математико-алгоритмических конструкций для ввода модели, и «Генератор моделей компонентов», обеспечивающий автоматизацию формирования программного кода моделей с целью их добавления в библиотеку моделей компонентов.

Научные положения, выносимые автором на защиту:

1) Новый подход к автоматизированному решению задач исследования и функционального проектирования СТУС, позволяющий автоматизировать решение задач их исследования и функционального проектирования путём многократного вычислительного эксперимента над многоуровневыми компонентными цепями с возможностями интерактивного варьирования значений параметров компонентов ХТС, численно-алгоритмической обработкой и визуализацией результатов их анализа.

2) Развитие метода компонентных цепей, обеспечивающее графическое построение и автоматизированное функционирование многоуровневых компонентных цепей СТУС, представленных на трех взаимосвязанных

уровнях с применением трех схмотехнических языков построения моделей: языка управляемых технологических объектов, языка моделирования алгоритмических конструкций и языка виртуальных инструментов и приборов, с обеспечением проведения многовариантного вычислительного эксперимента над СТУС с применением математических моделей ХТС, имитационных моделей сценариев проведения экспериментов и устройств управления со встроенными в них блоками численной обработки результатов и расчета коэффициентов моделей ХТС, а также визуальных моделей панелей визуализации и интерактивного управления.

3) Схмотехнический язык ХТС обеспечивающий построение компонентных цепей ХТС с неоднородными векторными связями и программно-алгоритмический аппарат в виде интерпретатора языка ХТС и адаптированного универсального вычислительного ядра, позволяющий анализировать процессы преобразования энергетических и многокомпонентных вещественных потоков, протекающих в ХТС.

4) Новый численный метод явно-неявного анализа вычислительных моделей ХТС с неоднородными векторными связями с заложенной в нем возможностью непосредственного определения значений переменных на этапе формирования системы алгебро-дифференциальных уравнений и реализованный на его основе алгоритм анализа, обеспечивающие повышение точности и быстродействия анализа компьютерных моделей ХТС на 25-50 % по сравнению с неявными методами анализа.

5) Язык моделирования алгоритмических конструкций и его программно-алгоритмические средства, обеспечивающие построение и работу имитационных моделей алгоритмов автоматизированных экспериментов, включающих блоки параметризации и численной обработки результатов анализа компьютерных моделей ХТС, а также содержащих функциональные модели устройств управления с протекающими в них процессами.

6) Язык виртуальных инструментов и приборов, предназначенный для построения лицевых панелей виртуальных инструментов и приборов и представленный совокупностью визуальных компонентов, осуществляющих визуализацию результатов измерения и моделирования и варьирование значений параметров исследуемых компьютерных моделей.

7) Предложена новая структура библиотеки моделей компонентов, обеспечивающая загрузку, выбор и работу компонентов трех взаимосвязанных подязыков языка многоуровневых компонентных цепей, а также включающая в себя средства исследования и формирования новых моделей компонентов, представленные генератором моделей компонентов и совокупностью интерактивных панелей.

8) Структура комплекса программ «Среда моделирования химико-технологических систем», основанного на развитии метода компонентных цепей для моделирования СТЭС, и совокупность методик и практических примеров его применения, обеспечивающие автоматизацию решения задач производственного, научно-исследовательского и учебного характера.

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в развитии метода компонентных цепей для компьютерного моделирования сложных технических управляемых систем с обеспечением одновременного моделирования непрерывных процессов, протекающих в химико-технологических системах, и дискретно-событийных процессов, описывающих сценарии проведения экспериментов и наблюдаемых в устройствах управления. Кроме того, разработаны новые численные методы явно-неявного решения систем уравнений, обеспечивающие повышение эффективности и быстродействия многовариантного анализа и параметрической оптимизации моделей химико-технологических систем.

Практическая ценность результатов диссертационной работы состоит в том, что решена крупная народнохозяйственная задача создания нового подхода к автоматизированному решению задач исследования и функционального проектирования сложных технических управляемых систем газовой промышленности. Результаты диссертационной работы внедрены на различных предприятиях стратегических отраслей РФ. Результаты внедрений подтверждены 6 актами внедрения. Также результаты использованы в учебном процессе.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

полученных результатов обоснованы и теоретически доказаны, а также экспериментально подтверждены путем сравнения результатов с результатами, полученными в известных аналогичных программных комплексах. Разработанные компьютерные модели в виде компонентных цепей химико-технологических систем реализованы на основе известных уравнений, описывающих протекающие в них процессы. Численные методы апробировались путем сравнения с результатами теоретических расчетов, а также с результатами, полученными в аналогичных программных пакетах. Достоверность разработанного программного комплекса подтверждается достоверным использованием основных положений объектно-ориентированного программирования, а также полученными актами о его использовании для решения различных задач народнохозяйственного значения, в том числе и для автоматизации процесса обучения и переподготовки специалистов газовой промышленности.

Полученные результаты имеют высокую значимость для разработки сетевых компьютерных тренажеров операторов-технологов и реализации интеллектуальных систем управления технологическими процессами, протекающими в управляемых химико-технологических системах, что востребовано и может быть использовано для стратегических отраслей РФ.

Апробация результатов работы

Основные результаты исследования опубликованы в 54 печатных работах, которые включают 4 статьи в журналах, цитируемых в базе SCOPUS, 19 статей в журналах из перечня ВАК, 8 статей в научных сборниках; 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ; 16 докладов в трудах российского и международного уровня конференций.

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) В диссертации и автореферате встречается понятие «мультифизические энергетические потоки». Из текста диссертации не понятно, что понимается под «мультифизическим» потоком и как он моделируется, используется в модели.

2) В тексте диссертации не приведено, как учитывается влияние измерительного прибора (виртуального прибора) на сам моделируемый процесс химико-технологической системы.

3) В главе 3 диссертации приведен ряд моделей. На стр. 146 приведен вывод об адекватности модели теплообменника. Однако в диссертации не представлена методика проверки адекватности моделей. Каким образом проверялась адекватность динамических моделей реальным процессам?

4) В подразделе 7.6 приведено описание компьютерного тренажера оператора. Как правило, компьютерные тренажеры включают инструментарий для тренера (обучающего). В диссертации отсутствует информация об этом. Как это реализовано в разработанном программном продукте?

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.

Таким образом, диссертационная работа Т.В. Ганджи «Развитие метода компонентных цепей для реализации комплекса программ моделирования химико-технологических систем» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной проблемы компьютерного моделирования сложных технических управляемых систем предприятий газовой промышленности, имеющая важное хозяйственное значение для разработки сетевых компьютерных тренажеров операторов-технологов и реализации интеллектуальных систем управления технологическими процессами, протекающими в управляемых химико-технологических системах.

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 – Ганджа Тарас Викторович – заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий кафедрой электроники и
автоматики физических установок,
д-р техн. наук, доцент



Горюнов Алексей Германович
«20» ноября 2017

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

Научная специализация: 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, технические науки».

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 А.Г. Горюнова

УДОСТОВЕРЯЮ

Ученый секретарь ТПУ



Ольга Афанасьевна Ананьева