

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Институт проблем  
Управления им. В.А. Трапезникова Российской  
академии наук д.т.н. член-корр. РАН Новиков Д.А.



13 ноября 2017 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Ганджи Тараса Викторовича  
«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 работы

В различных отраслях промышленности находят применение сложные технические управляемые системы (СТУС), объектами управления в которых являются химико-технологические системы (ХТС) с протекающими в них мультифизическими энергетическими и многокомпонентными вещественными потоками. Развитие современных методов и комплексов программ компьютерного моделирования управляемых ХТС является актуальной задачей, так как направлено на автоматизацию решения важных задач научно-исследовательского, проектно-конструкторского характера, а также для проведения вычислительных экспериментов. Разработка и применение компьютерных моделей СТУС на основе автоматизированных экспериментов открывает возможности: формирования структуры, выбора элементов ХТС с определением значений их параметров, обеспечивающих требуемые режимы её функционирования; выбора исполнительных устройств и нахождения их параметров, обеспечивающих быстрые и точные переводы объекта управления в требуемые состояния; формирования и отладки сценариев управления устройств управления СТУС; нахождение управляющих воздействий для установления требуемых режимов функционирования ХТС.

В связи с этим **актуальной** является разработка нового подхода к автоматизированному решению задач исследования и функционального проектирования

сложных технических управляемых систем предприятий газовой промышленности. Он включает в себя развитие метода компонентных цепей, представленное в виде его многоуровневой интерпретации, и реализацией на его основе комплекса программ моделирования химико-технологических систем.

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

1. Предложен и обоснован новый подход, обеспечивающий автоматизацию решения задач исследования и функционального проектирования сложных технических управляемых систем предприятий газовой промышленности, в основе которого лежит многократный вычислительный эксперимент над моделями ХТС с варьированием значений параметров их компонентов.

2. Осуществлено развитие метода компонентных цепей, позволившее формировать и осуществлять анализ многоуровневых компонентных цепей химико-технологических систем, в которые помимо математических моделей аппаратов химической технологии с неоднородными векторными связями входят имитационные модели сценариев проведения вычислительных экспериментов, содержащие функциональные модели устройств управления и визуальные модели панелей визуализации и интерактивного управления.

3. Сформирован язык виртуальных инструментов и приборов в виде набора визуальных компонентов, реализованных на единых программно-алгоритмических принципах их функционирования, который обеспечивает формирование и моделирование виртуальных приборов. Их отличительной особенностью от моделей, реализуемых в других системах, является то, что нелинейные модели виртуальных приборов, не входя в общую систему уравнений исследуемой ХТС, позволяют включать в себя блоки численно-алгоритмического анализа результатов моделирования с целью их подготовки к визуализации. За счет этого разделения было достигнуто увеличение точности расчета значений первичных переменных модели ХТС и расширение возможностей численно-алгоритмической обработки результатов моделирования.

4. Предложен новый язык моделирования химико-технологических систем, для которого разработаны программно-алгоритмические средства, представленные интерпретатором языка ХТС и универсальным вычислительным ядром. Их работа основана на новых алгоритмах формирования вычислительной модели ХТС с неоднородными векторными связями и новом алгоритме её явно-неявного анализа, в основе которого лежит непосредственное определение единственной неопределенной переменной на этапе формирования уравнений. Благодаря этому удалось повысить быстродействие алгоритма

путём снижения общего числа элементарных операций, выполняемых при формировании и решении неполной системы уравнений, а точность – благодаря отсутствию необходимости задания начальных значений.

5. Сформированы и разработаны лексемы и грамматические правила языка моделирования алгоритмических конструкций, отличающиеся от имеющихся комплексов моделирования возможностью построения имитационных моделей сценариев проведения экспериментов, взаимодействующих с компьютерной моделью исследуемой ХТС и включающих функциональные модели устройств управления. Предложена и реализована система отображения лексем языка моделирования алгоритмических конструкций в формат алгоритмических компонентных цепей, допускающих взаимодействие с моделями ХТС, а также разработан язык передачи сообщений, обеспечивающий передачу сообщений с данными различных типов между компонентами алгоритмических компонентных цепей.

6. Предложена структура и реализован комплекс программ «Среда моделирования химико-технологических систем», основанные на осуществлённом в диссертации развитии метода компонентных цепей. Его отличиями от существующих являются построенные на единых принципах метода компонентных цепей и объектно-ориентированного программирования средства математического, имитационного и визуального моделирования, открывающие возможности автоматизированного решения задач исследования и функционального проектирования сложных технических управляемых систем предприятий газовой промышленности.

7. Спроектирована новая многоуровневая структура библиотеки моделей компонентов, реализованная на принципах объектно-ориентированного программирования и обеспечивающая хранение и использование в многоуровневых компонентных цепях компонентов трёх подязыков языка многоуровневого компьютерного моделирования. Автоматическое формирование и исследование новых моделей компонентов осуществляется входящими в комплекс программ «Генератором моделей компонентов» и интерактивными математическими панелями, включающими редактор математико-алгоритмических выражений.

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

**Теоретическая значимость работы** обеспечивается решением крупной народнохозяйственной задачи теоретического развития метода компонентных цепей и разработки основанного на нём комплекса программ моделирования химико-технологических систем. Он направлен на автоматизацию решения задач исследования и

функционального проектирования сложных технических управляемых систем, объектом управления которых являются химико-технологические системы предприятий газовой промышленности с протекающими в них мультифизическими энергетическими и многокомпонентными вещественными потоками.

Практическая значимость диссертационных исследований обусловлена возможностями создания сетевых компьютерных тренажеров для оперативного обучения и переподготовки персонала, осуществляющего управление технологическим оборудованием предприятий газовой промышленности, а также возможностями интеграции комплекса программ с реальным объектом. Благодаря этому открываются возможности создания интеллектуальных систем управления с компьютерными моделями химико-технологических систем в контуре управления.

#### **Практическая ценность результатов** заключается в следующем

1. Предложена многоуровневая компонентная цепь сложных технических управляемых систем, обеспечивающая автоматизацию процессов исследования и функционального проектирования управляемых химико-технологических систем.

2. Разработан комплекс программ с возможностью интеграции с реальным объектом, открывающий возможности построения интеллектуальных систем управления ХТС с компьютерными моделями в контуре управления.

3. В комплексе программ построена многоуровневая компонентная цепь стерилизатора для обработки наполненных растворами ампул, инструмента и одежды, обеспечивающая исследование режимов работы стерилизатора, эксплуатируемого в федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-производственное объединение по медицинским иммунобиологическим препаратам «Микроген» министерства здравоохранения Российской Федерации в филиале ФГУП НПО «Микроген» Минздрава России в г. Томске «НПО Вирион».

4. Результаты исследования использованы ЗАО НПФ «Сибнефтектр» при разработке программного обеспечения автоматизированных систем управления автозаправочными станциями и нефтебазами, а также использованы ОАО «ТомскНИПИНефть» при разработке сценариев функционирования автономных компьютерных тренажеров объекта «Куломбинское месторождение».

5. На базе разработанного комплекса программ реализованы компьютерные тренажеры, виртуальные и реально-виртуальные лаборатории, внедренные в учебный процесс ряда высших учебных заведений Российской Федерации.

6. В системе виртуальных инструментов и приборов, входящей в состав разработанного комплекса программ, созданы клиентские части имитационной динамической модели «Виртуальный промысел», реализованной совместно с научными сотрудниками кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета и внедрённой в процесс обучения и переподготовки специалистов ОАО «Томскгазпром».

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

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы научно-производственными компаниями, занимающимися разработкой и применением управляемых химико-технологических систем. Полученные научные знания могут быть рекомендованы для использования в ПАО «Газпром» (г. Москва), ОАО «Сургутнефтегаз» (г. Сургут), ОАО «ТОМСКНИПИНефть» (г. Томск), ОАО «ГазпромТрансгаз Томск» (г. Томск).

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

Диссертация Т.В. Ганджи посвящена развитию метода компонентных цепей, на базе которого разработан комплекс программ моделирования химико-технологических систем. В работе создана структура многоуровневой компьютерной модели сложных технических управляемых систем, предназначенных для управления технологическими объектами газовой промышленности, а также разработаны алгоритмы формирования и анализа компьютерных моделей химико-технологических систем с многокомпонентными вещественными потоками в связях. Помимо этого разработан алгоритм явно-неявного анализа, направленный на повышение точности и быстродействия моделирования ХТС. Разработан комплекс программ компьютерного моделирования химико-технологических систем, обеспечивающий построение и функционирование многоуровневых компьютерных моделей сложных технических управляемых систем газовой промышленности.

Тема диссертационной работы и полученные Т.В. Ганджой результаты являются оригинальными и соответствуют пп. 1, 4, 5, 7, 8 области исследования паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

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

Защищаемые положения и выводы диссертационной работы Ганджи Т.В. имеют хорошую аргументацию, достоверность полученных результатов хорошо обоснована и подтверждается использованием современных технологий моделирования и

программирования. Результаты представленных в работе теоретических и экспериментальных исследований не противоречат данным, приводимым в работах других исследований. Материалы диссертации подробно опубликованы в Российских и зарубежных журналах, а также апробированы на Международных и Всероссийских конференциях.

### **Замечания по работе**

1. Предлагаемый в четвертой главе диссертации язык моделирования алгоритмических конструкций является исходно избыточным и требует специальных настроек в зависимости от типов решаемых задач. Как будет настраиваться многоуровневая компонентная цепь в случае достаточности управления на регуляторах?

2. В диссертации не отражены отличия предлагаемого подхода моделирования сложных технических управляемых систем от гибридных моделей систем управления, использующих диаграммы состояния.

3. В комплексе программ разработаны «Генератор моделей компонентов» и «Интерактивные математические панели», которые выполняют одно и то же функциональное назначение. В этой связи необходимо пояснить различие между двумя подходами к созданию новых моделей компонентов с помощью упомянутых выше инструментов и их добавлению в библиотеку моделей компонентов.

4. В диссертации не уделено внимание моделированию химико-технологических систем с процессами регенерации вещественных потоков, что является актуальным, например, при регенерации ингибиторов в системах абсорбционной осушки природного газа. Автор не исследует этот вопрос ни при разработке алгоритма интерпретатора языка ХТС, ни при разработке методик и алгоритма повышения быстродействия анализа химико-технологических систем, описанного в п. 6.4.2.1.

5. При построении языка виртуальных инструментов и приборов реализованные компоненты являются общими для моделирования технических объектов различной физической природы. Тут следовало бы рассмотреть возможности построения мнемосхем химико-технологических систем с возможностями отображения результатов моделирования в непосредственных точках моделируемого объекта для более наглядного представления протекающих процессов.

### **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 Ганджи Тараса Викторовича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема 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.

Диссертационная 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.

Результаты диссертационной работы Ганджи Т.В. были обсуждены на открытом научном семинаре лаборатории № 41 «Идентификации систем управления» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (протокол № 10 от 9 ноября 2017 г.).

Председатель семинара, заведующий лабораторией № 41

«Идентификации систем управления»,

ФГБУН Институт проблем управления

им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,

доктор технических наук, профессор,

адрес: 117997, г. Москва ул. Профсоюзная, д. 65,

тел.: 8 (495) 334-92-01,

E-mail: bahfone@ipu.ru



Н.Н. Бахтадзе

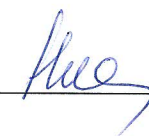
Секретарь семинара, научный сотрудник

лаборатории № 41 «Идентификации

систем управления», ФГБУН Институт

проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук



И.В. Никулина

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)

Сайт [www.ipu.ru](http://www.ipu.ru)

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65

Телефон: 8 (495) 334-89-10

Электронная почта: [dan@ipu.ru](mailto:dan@ipu.ru)