

На правах рукописи

РУДОМЕТОВ Сергей Валерьевич

ВИЗУАЛЬНО-ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Конструкторско-технологическом институте вычислительной техники
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель: доктор технических наук
Окольнишников Виктор Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Родионов Алексей Сергеевич

доктор технических наук
Шорников Юрий Владимирович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт систем информатики
им. А.П. Ершова Сибирского отделения
РАН

Защита состоится 14 февраля 2012 года в 16.30 на заседании диссертационного совета Д 003.061.02 при Учреждении Российской академии наук Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН по адресу: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН.

Автореферат разослан " " 2012 года.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 003.061.02,

д.ф.-м.н.



Сорокин С.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Компьютерное имитационное моделирование является мощным и широко распространенным методом исследования сложных систем, используемым практически во всех отраслях науки и техники.

Использование имитационного моделирования (ИМ) заключается в разработке имитационных моделей исследуемых систем и проведении имитационных экспериментов с этими моделями. Для автоматизации этих процессов существуют многочисленные системы и пакеты ИМ. Но использование этих средств автоматизации ИМ требует от пользователя профессиональной подготовки в области ИМ.

В настоящее время возрастает потребность использования ИМ при проектировании, разработке, оптимизации технических систем и технологических процессов, информационных и управляющих систем в разных прикладных областях. Но отсутствие у потенциальных пользователей, являющихся специалистами конкретных прикладных областей, профессиональной подготовки в области ИМ препятствует широкому использованию ИМ в этих областях.

Поэтому проблема разработки системы ИМ, ориентированной на использование широким кругом пользователей, являющихся специалистами в своих предметных областях, но не имеющих глубоких знаний в области ИМ и не имеющих опыта разработки имитационных моделей, является актуальной.

Объектом исследования является имитационное моделирование технологических систем.

Предметом исследования являются технология разработки системы имитационного моделирования, ориентированной на непрофессионального пользователя, и методология быстрого создания имитационных моделей с помощью этой системы для различных предметных областей.

Цель работы состоит в разработке визуально-интерактивной системы ИМ широкого класса технологических систем.

Основные задачи работы. В диссертации поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследованы потребности пользователей современной системы имитационного моделирования технологических систем (СИМТС).
2. Определены требования к современной СИМТС.
3. Разработана архитектура СИМТС.
4. Реализована СИМТС.

5. Разработана методология быстрого построения имитационных моделей с использованием СИМТС.

Основные защищаемые положения. Основными защищаемыми положениями диссертационной работы являются:

1. Перечень требований к современной СИМТС.
2. Система имитационного моделирования технологических систем MTSS (Manufacturing Transportation Simulation System).
3. Имитационная модель технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия, разработанная с использованием системы имитационного моделирования MTSS.

Научная новизна. Предложен подход, средства и технология эффективного создания и использования имитационных моделей специалистами в предметных областях. На основании предложенных подхода, средств и технологии разработана архитектура системы ИМ. В качестве реализации предложенной архитектуры создана система MTSS, удовлетворяющая всем определенным в диссертации требованиям к современной системе имитационного моделирования технологических систем.

Практическая значимость. Практическая значимость работы продемонстрирована на примере разработки имитационной модели технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия, которая использована при выполнении Государственного контракта № 02.514.11.4126 "Разработка интеллектуальной системы пространственно-технологического мониторинга на базе глобального спутникового позиционирования с целью повышения энергоэффективности и экологической безопасности существующих методов добычи углеводородов" в рамках ФЦНТП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы".

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 21 печатной работе соискателя, включая 1 работу в журнале из списка ВАК и 1 регистрацию программы в Фонде Алгоритмов и Программ СО РАН. Список работ приведен в конце автореферата.

Личный вклад. В перечисленных работах все результаты, связанные с формулированием требований к системе имитационного моделирования технологических систем, разработкой архитектуры системы имитационного моделирования, программной реализацией системы MTSS, получены автором лично. Результаты по разработке элементарных моделей энергетических объектов нефтегазодобывающего предприятия получены совместно с С.С. Журавлевым и являются неделимыми. Из остальных совместных работ с С.К. Андрюшкевичем, Е.П. Золотухиным, В.В. Окольниковым, С.В. Шакировым, М.И. Нечепуренко, А.С. Зензиным в дис-

сертацию включены только те результаты, которые принадлежат лично автору.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих Российских и международных конференциях:

- The Second IASTED International Multi-Conference Automation, Control, and Applications", Russia, Novosibirsk, 2005.
- Вторая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности "Имитационное моделирование. Теория и практика" (ИММОД 2005), Санкт-Петербург, 2005.
- Пятая азиатская международная школа семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Бишкек, 2009.
- IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering "SIBIRCON 2010", Russia, Irkutsk, 2010.
- International Conference on Modelling and Simulation in Prague (MS'10), Czech Republic, Prague, 2010.
- Шестая азиатская международная школа семинар "Проблемы оптимизации сложных систем", Усть-Каменогорск, 2010.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** изложена актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы и задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту. Обосновывается научная новизна, практическая значимость, приводятся основные задачи работы и основные защищаемые положения.

Первая глава диссертации посвящена определению требований к СИМТС.

В этой главе приводится сравнительный анализ существующих подходов к моделированию технологических процессов, а также сравнительный анализ существующих систем ИМ.

Существующий подход к созданию имитационных моделей, когда модель создает специалист в области ИМ, а использует специалист в предметной области, должен быть изменен. Предлагаемое изменение позволяет специалисту в предметной области, не имея детальных знаний об ИМ, визуально создавать и анализировать имитационные модели техноло-

гических систем, собранные из отдельных подмоделей технологического оборудования.

Современная СИМТС должна позволять:

- Создавать имитационные модели технологических систем специалисту в предметной области, не являющемуся специалистом в ИМ;
- Создавать имитационные модели сложных технологических систем из моделей технологических объектов, входящих в состав этих технологических систем;
- Скрыть аспекты ИМ от конечного пользователя, оставляя лишь возможность настройки параметров, относящихся к моделям технологических объектов, понятных специалисту в предметной области;
- Быстро создавать имитационные модели, и предоставлять возможность пользователю сосредоточиться на самой проблеме, а не на способах создания имитационной модели;
- Осуществлять визуальный контроль за исполнением имитационной модели;
- Осуществлять анализ статистических данных, и представлять их в виде, нужном пользователю имитационной модели.

В главе 1 сделан сравнительный обзор наиболее известных существующих систем ИМ. Эти системы в разной степени реализуют указанные выше требования к современной системе ИМ. Часть из них предполагает, что имитационную модель будет создавать специалист в области ИМ, тогда как остальные системы ИМ позволяют их использование специалистами в предметных областях.

Результатом исследований, приведенных в главе 1, является следующий список требований к функциональным возможностям современной СИМТС:

- Наличие визуально-интерактивного интерфейса для создания и исполнения моделей;
- Использование графических средств для разработки и исполнения моделей;
- Поддержка быстрой разработки моделей;
- Ориентация на специалистов предметных областей;
- Наличие готовых к использованию библиотечных элементов для обеспечения быстрой сборки моделей;
- Возможность разработки имитационных моделей пользователями, не являющихся специалистами в области ИМ;

- Возможность организации взаимодействия моделей с внешними системами;
- Возможность графической разработки модели в формате 2D и визуализация исполнения модели в формате 2D и в формате 3D;
- Представление результатов моделирования в виде законченного анализа работы модели, не требующего дополнительной статистической обработки.

Во **второй главе** описана и обоснована предлагаемая архитектура СИМТС, обеспечивающая выполнение перечисленных выше требований к функциональным возможностям СИМТС.

Нефункциональные требования к СИМТС: реализация СИМТС как Desktop-приложение, расширяемость, переносимость.

В качестве языка разработки СИМТС выбран язык Java, в качестве платформы разработки – среда Eclipse.

Декомпозиция модели технологической системы (ТС), основана на определении технологической системы в ГОСТ 27.004-85. Введено понятие **Элементарной модели (ЭМ)** – имитационной модели типа технологического оборудования. **Экземпляр ЭМ** – объект ЭМ в имитационной модели.

Декомпозиция модели технологической системы (DecS) определяется как:

$$\text{DecS} = \{ \text{SimTO}, \text{SimTC}, \text{SimTG} \}$$

$$\text{SimTO} = \{ \text{EMSet}, \text{EntranceSimTO}, \text{ExitSimTO}, \text{ManPrg} \}$$

$$\text{SimTC} = \{ (i, j), i \in \text{SimTO}, j \in \text{SimTO} \}$$

где *SimTO* – множество экземпляров ЭМ в модели.

SimTC – множество связей между элементами множества *SimTO*,

SimTG – множество моделей предметов производства.

EntranceSimTO – множество моделей технологического оборудования специального вида, служащих для порождения элементов множества *SimTG*. Элементы этого множества могут не иметь аналогов в моделируемой ТС и служат для выделения ТС из окружающего мира.

ExitSimTO – множество моделей технологического оборудования специального вида, служащих для вывода из модели элементов множества *SimTG*. Так же как и *EntranceSimTO*, элементы этого множества могут не иметь аналогов в моделируемой ТС и служат для выделения ТС из окружающего мира.

EMSet – множество экземпляров моделей технологического оборудования в модели.

ManPrg – множество моделей программ управления.

Структура ЭМ. Каждая ЭМ имеет интерактивный графический образ для организации взаимодействия с пользователем и для отображения состояния ЭМ. Также ЭМ имеет логическую часть для определения процесса исполнения ЭМ.

Логическая часть ЭМ определяется на нескольких уровнях:

1. Уровень имитации технологического объекта (ТО). Функционирование ТО имитируется с помощью списка возможных состояний ЭМ и работы ЭМ в каждом состоянии.
2. Уровень имитации логики работы ТО (команды управления). На этом уровне определяются команды ЭМ, выполнение которых приводит к смене состояния ЭМ в соответствии с технологическими правилами работы имитируемого ТО.
3. Модели программ управления. Программы управления нужны в технологических системах в случаях, когда логике ТО требуется решение, основанное на анализе состояния нескольких ТО. Соответственно, ЭМ может потребоваться модель такой программы управления.

Архитектура СИМТС представлена на рис. 1 с использованием нотации языка UML¹.

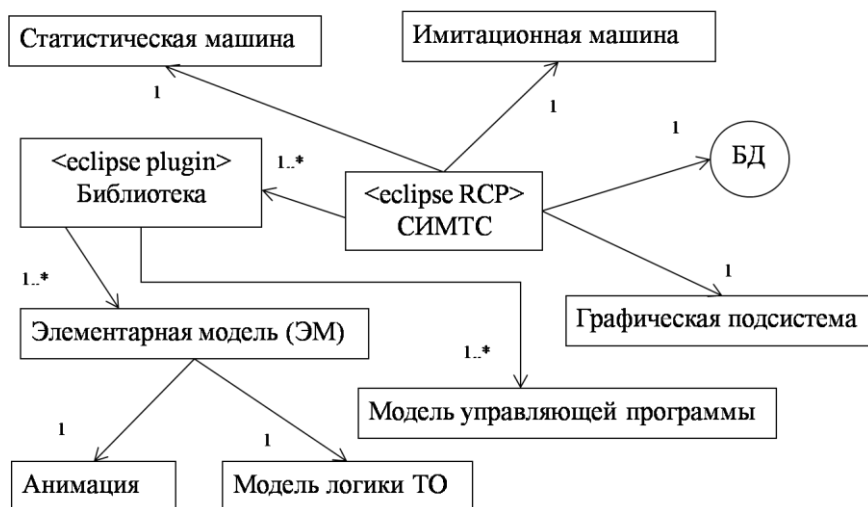


Рис.1. Архитектура СИМТС.

Архитектура СИМТС содержит следующие основные компоненты:

1. **Имитационная машина** для инкапсуляции аспектов имитационного моделирования;
2. **Графическая подсистема** для графического представления имитационной модели. Графическая подсистема используется для

¹ Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя // М., СПб. ДМК Пресс, Питер, 2004.

- отображения ЭМ как на этапе создания имитационной модели, так и на этапе исполнения имитационной модели;
3. **Статистическая машина** для сбора и анализа статистических данных в процессе исполнения имитационной модели;
 4. **БД (база данных)** для обеспечения связи с внешними системами;
 5. **Библиотека** для объединения нескольких элементарных моделей и моделей программ управления, относящихся к некоторой предметной области;
 6. **Элементарная модель** и **модель программы управления** является реализациями ЭМ и моделей управляющих программ ТС в СИМТС;
 7. **Анимация** и **Модель логики ТО**. Эти основные части каждой ЭМ, описаны в пункте 2.4 диссертации.

Далее определяются понятия **субъекта** и **системы**. Взаимодействие между системой и субъектом и субъектом и субъектом осуществляется с помощью механизма **портов имитационной машины**.

Субъект является процессом в соответствии с процессным дискретно-событийным подходом имитационного моделирования. С каждой ЭМ связан субъект, имитирующий поведение ЭМ.

Система используется для объединения нескольких **субъектов** и организации выполнения имитационной модели в модельном времени. Наиболее подходящей для моделирования ТС может быть реализация имитационной машины, использующая представление **субъектов** как нитей-процессов. Такая имитационная машина является простой в реализации и масштабируемой, что позволяет использовать ее на различных процессах.

После анализа требований к графической подсистеме показано, что наиболее подходящим для имитации ТС является двумерная (2D) асинхронная анимация. Трехмерная анимация (3D) может присутствовать, но использоваться как дополнительная возможность для более реалистичской визуализации исполнения имитационной модели, в силу своей сложности и ресурсоемкости.

Связь между двумя и более экземплярами ЭМ основывается на реализации понятия "**графический порт**".

Графические порты встроены в графический образ ЭМ, и могут использоваться разработчиком имитационной модели для визуального соединения экземпляров ЭМ.

Обмен данными между ЭМ с использованием графических портов происходит "мгновенно" в модельном времени. Этот обмен используется в

первую очередь для моделирования аппаратной части технологических объектов ТС.

Статистическая машина предназначена для сбора и анализа значений параметров имитационной модели в ходе имитационного эксперимента. Данный компонент обеспечивает сбор и обработку статистической информации в объеме, соответствующем классическим системам имитационного моделирования.

Статистические данные генерируются каждой ЭМ в процессе исполнения имитационной модели. При этом частота сбора и обработки имитационных данных определяется для каждой ЭМ индивидуально.

Каждая **программа управления** последовательно обрабатывается специальным субъектом, называемым подсистемой программ управления (ППУ).

Каждый экземпляр ЭМ в имитационной модели связан портом имитационной машины с ППУ. В любой момент модельного времени любой экземпляр ЭМ может послать сигнал в ППУ. При поступлении такого сигнала ППУ последовательно пересылает его в модели программ управления, которые его обрабатывают и реализуют действия, предусмотренные семантикой этого сигнала.

Для организации связи с внешними системами используется интерфейс баз данных.

Результатами главы 2 являются архитектура СИМТС и следующие проектные решения:

1. Использование языка Java и среды Eclipse для разработки системы имитационного моделирования;
2. Элементарная модель является моделью технологического оборудования. Имитационная модель является моделью технологической системы, и создается из экземпляров ЭМ различного типа.
3. Элементарные модели, относящиеся к некоторой предметной области, объединяются в библиотеки. Каждая библиотека реализуется как eclipse-plugin;
4. Каждая ЭМ имеет анимационную и логическую части. Анимационная часть включает отображение в режиме 2D, и при необходимости в 3D. Логическая часть является моделью логики низкого уровня функционирования ТО;
5. Выделен уровень управляющих программ для реализации моделей управляющей логики верхнего уровня и/или для связи с внешними программными комплексами;
6. При выполнении имитационной модели производится сбор, первичная обработка и визуализация статистической информации.

В **третьей главе** рассматривается система имитационного моделирования MTSS, реализованная в соответствии с требованиями, сформулированными в главе 1 и архитектурой СИМТС, предложенной в главе 2. Описываются следующие возможности системы MTSS:

- Элементы пользовательского интерфейса системы MTSS (пункт 3.2 диссертации);
- Процесс создания и использования имитационной модели пользователями, являющимися специалистами в предметной области (пункт 3.4 диссертации);
- Процесс создания элементарных моделей и библиотек элементарных моделей специалистами в области имитационного моделирования (пункт 3.5 диссертации);
- Описание логической части ЭМ в виде **состояний ЭМ** и переходов между ними, определенных в **командах ЭМ**;
- Связь имитационной модели с внешними системами с использованием базы данных или других внешних интерфейсов.

Пользовательский интерфейс MTSS позволяет пользователю, являющемуся специалистом в предметной области, быстро создавать имитационные модели технологических систем.

Интерфейс разработчика ЭМ (специалиста в области имитационного моделирования) в среде MTSS позволяет создавать сложные ЭМ, следуя обычному алгоритму разработки имитационных моделей². В пункте 3.5 диссертации описаны действия разработчика ЭМ как для создания отдельных ЭМ, так и для создания библиотек ЭМ и интеграции этих библиотек с системой MTSS.

Логическая часть ЭМ должна разрабатываться с использованием понятий **состояния ЭМ** и **команды ЭМ**. Этот способ был выработан при использовании системы MTSS и позволяет упростить и ускорить разработку ЭМ, сделать реализацию логической части ЭМ простой и расширяемой.

Команды ЭМ содержат схему переключения между **состояниями ЭМ**. Команда требуется для достижения некоторой заданной цели, специфичной для каждой команды. Показано, что такая организация модели логики ЭМ позволяет оптимизировать производительность ЭМ. Любая ЭМ может быть расширена произвольным количеством команд, что позволяет усложнять логику ЭМ и расширять возможности ее применения, не "загромождая" при этом программный код.

² Конюх В.Л., Игнатьев Я.Б., Зиновьев В.В. Методы имитационного моделирования систем. Применение программных продуктов // Электронное изд. зарег. в Федеральном депозитарии электронных изданий № 0320401123. Рег. свид. ФГУП НТЦ «Информрегистр» от 06.09.2004. № 4753.

Результатом главы 3 является система MTSS, которая позволяет:

- Создавать и сопровождать элементарные модели и библиотеки ЭМ технологического оборудования специалистам в области имитационного моделирования;
- Быстро создавать имитационные модели специалистам в предметной области, используя специализированную для этой предметной области библиотеку ЭМ;
- Исполнять имитационную модель как автономно, так и в составе внешних информационных или управляющих систем;
- Контролировать исполнение имитационной модели с использованием анимации в формате 2D и 3D;
- Собирать, обрабатывать и визуализировать статистические результаты в процессе выполнения модели.

В четвертой главе рассматривается использование системы MTSS для создания специализированной библиотеки в области нефтегазодобычи и разработки имитационной модели технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия с помощью этой библиотеки.

В 2009-2010 годах в КТИ ВТ СО РАН в рамках ФЦНТП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы" выполнялась научно-исследовательская работа "Разработка интеллектуальной системы пространственно-технологического мониторинга на базе глобального спутникового позиционирования с целью повышения энергоэффективности и экологической безопасности существующих методов добычи углеводородов" по созданию экспериментального образца системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры (ЭО СОМТИ) нефтегазодобывающего предприятия (НГДП).

Ввиду отсутствия или недоступности полного набора реальных входных данных о работе большого количества реальных технологических объектов НГДП, на этапе разработки, отладки и тестирования ЭО СОМТИ было принято решение использовать имитационную модель технологического процесса добычи и транспортировки нефти для генерации входных данных ЭО СОМТИ.

Технологическая система НГДП представляет собой совокупность технологических объектов, служащих для обеспечения добычи газонефтяной смеси, частичной ее обработки и транспортировки до центрального пункта сбора нефти.

При разработке ИМ НГДП были выполнены следующие работы:

- Проведение декомпозиции технологической системы НГДП.

- Создание библиотеки элементарных моделей технологических объектов НГДП.;
- Создание типовой модели НГДП;
- Использование имитационной модели НГДП в процессе отладки, тестирования и сдачи ЭО СОМТИ.

Декомпозиция технологической системы НГДП была сделана следующим образом:

$SimTO = \{ \text{нефтевозы, прямые участки дорог, трубы, ДНС-ы, ЦПСН, АГЗУ, нагнетательные насосы, скважины, ЭЦН-ы, ПС-и, ФСК, КТП, трансформаторы, месторождения, линии электропередач} \}$

$EntranceSimTO = \{ \text{месторождение, ФСК, нагнетательные насосы} \}$

$ExitSimTO = \{ \text{ЦПСН, месторождение} \}$

$SimTG = \{ \text{нефть, электричество} \}$

$ManPrg = \{ \text{управление ЭЦН, управление трансформатором, управление нефтевозом, управление трубой, управление АГЗУ, управление ПС, управление КТП, управление скважиной} \}$

Элементарные модели элементов множества SimTO составляют библиотеку элементарных моделей технологических объектов НГДП. Выходными данными ЭМ, используемыми ЭО СОМТИ, являются: **продукт, дебит, потребленная энергия, давление, географические координаты.**

ИМ НГДП использовалась при комплексной отладке и тестировании ЭО СОМТИ по схеме, представленной на рис. 2.

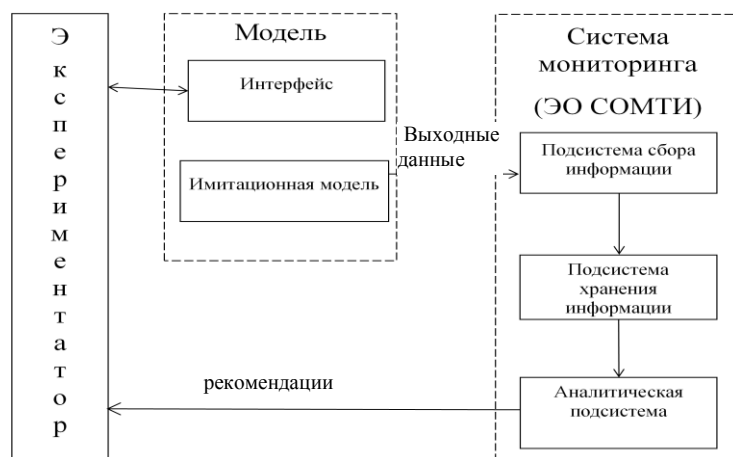


Рис. 2. Применение ИМ НГДП для комплексной отладки и тестирования ЭО СОМТИ.

Применение имитационной модели позволило обнаружить и исправить большое количество ошибок, допущенных при разработке ЭО СОМТИ, и позволило провести испытания и сдать проект заказчику.

В главе 4 описаны следующие результаты:

- Разработана библиотека элементарных моделей технологических объектов НГДП;
- Разработана типовая модель инфраструктуры НГДП;
- На основе типовой модели разработана имитационная модель НГДП для отладки и проведения испытаний ЭО СОМТИ, включающая подмодели: кусты скважин, нефтеналивной транспорт, транспортную, электрическую и трубопроводную подсистемы НГДП;
- Реализован алгоритм движения нефтеналивного транспорта по формально заданному расписанию;
- Разработаны сценарии штатных и нештатных ситуаций работы НГДП для отладки и тестирования ЭО СОМТИ;
- Имитационная модель успешно использована для комплексной отладки и экспериментальных исследований ЭО СОМТИ.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в рамках диссертационной работы.

Основные результаты диссертации

1. Исследованы потребности и определены требования к современной системе имитационного моделирования технологических систем.
2. Разработана архитектура и проект системы имитационного моделирования технологических систем.
3. Разработана система имитационного моделирования технологических систем MTSS.
4. Разработана имитационная модель технологической инфраструктуры НГДП. Эта модель успешно применена при отладке, тестировании и экспериментальных исследованиях ЭО СОМТИ.

Список публикаций по теме диссертации

1. Рудометов С.В. Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем // Вестник СибГУТИ, 2011. №3. — С. 14–27.
2. Рудометов С.В.: Система имитационного моделирования MTSS // Новосибирск: ФАП СО РАН 2011. URL: <http://fap.sbras.ru/node/2325>
3. Андриюшкевич С.К., Журавлев С.С., Золотухин Е.П., Окольнишников В.В., Рудометов С.В. Разработка системы мониторинга с использованием имитационного моделирования // Проблемы информатики, 2010. № 4. — С. 65–75.
4. Журавлев С.С., Окольнишников В.В., Рудометов С.В. Моделирование технологических процессов нефтегазодобывающих предприятий //

- Труды Шестой азиатской международной школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем". 2009. — С. 163–168.
5. Журавлев С.С., Окольнішников В.В., Рудометов С.В., Шакиров С.В. Моделирование водоотливных и транспортных систем угольных шахт // Труды Шестой азиатской международной школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем". 2010. — С. 169–175.
 6. Okolnishnikov V.V., Rudometov S.V., Zhuravlev S.S. Monitoring System Development Using Simulation // Proc of 2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering SIBIRCON-2010. Irkutsk Listvyanka, Russia, 2010. Vol. 2. — P. 736–739.
 7. Okolnishnikov V.V., Rudometov S.V., Zhuravlev S.S. Simulation environment for industrial and transportation systems // International Conference on Modelling and Simulation. Prague, Czech Republic, 2010. — P. 337–340.
 8. Rudometov S.V. Workflow for Rapid Simulation of Complex Distribution Centers // International Conference on Modelling and Simulation. Prague, Czech Republic, 2010. — P. 374–377.
 9. Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Использование среды имитационного моделирования TSS для решения задач управления технологическими процессами предприятий горнодобывающей промышленности // Труды ИВМ и МГ СО РАН Серия Информатика: Материалы Пятой азиатской международной школы семинара "Проблемы оптимизации сложных систем". Новосибирск, 2009. Вып. 9. — С. 253–257.
 10. Рудометов С.В., Окольнішников В.В. Возможности среды имитационного моделирования TSS // Труды ИВМ и МГ СО РАН Серия Информатика: Материалы Пятой азиатской международной школы семинара "Проблемы оптимизации сложных систем". Новосибирск, 2009. Т. 9. — С. 111–116.
 11. Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Переносимая система имитационного моделирования для многопроцессорных вычислительных систем // Труды международной научной конференции "Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008)". Санкт-Петербург, 2008. — С. 427–432.
 12. Рудометов С.В. Визуально-интерактивная система моделирования транспортных систем // Труды Международной научно-методической конференции "Классический университет в российском образовательном пространстве" (к 90-летию Пермского государственного университета). Пермь, 2006. — С. 85–87.
 13. Рудометов С.В. Система распределенного имитационного моделирования для МВС-1000/М // Труды Международной научно-

- методической конференции "Классический университет в российском образовательном пространстве" (к 90-летию Пермского государственного университета). Пермь, 2006. — С. 82–84.
14. Okol'nishnikov V.V., Rudometov S.V. Simulation of Complex Transportation Systems // Proc of the Second IASTED International Multi-Conference "Software Engineering" (ACIT-SE). Novosibirsk, 2005. — P. 60–64.
 15. Rudometov S.V., Okol'nishnikov V.V. Development of Distributed Simulation System // Proc of the Seventh International Conference "Parallel Computing Technologies (PaCT-2003)". Nizhni Novgorod, Russia, 2003. — P. 524–527.
 16. Нечепуренко М.И., Окольнішников В.В., С.В. Р. Разработка библиотеки параллельного имитационного моделирования с использованием MPI // Труды Всероссийской научной конференции "Высокопроизводительные вычисления и их приложения. М., 2001. — С. 144–147.
 17. Okol'nishnikov V.V., Rudometov S.V. Distributed simulation system integrated into control system. // Proc of 13th Europ Simulation Multiconference. Warsaw, 1999. Vol. 2. — P. 510–512.
 18. Зензин А.С., Окольнішников, В.В., Рудометов, С.В. Интегрированная с АСУ ТП система распределенного моделирования // Труды Шестого Международного семинара "Распределенная обработка информации". Новосибирск, 1998. — С. 511–514.
 19. Окольнішников В.В., Рудометов С.В. Моделирование систем управления распределенных систем реального времени // Системное моделирование: Сб науч тр, 1998. Т. 4(22). — С. 141–150.
 20. Рудометов С.В. Язык распределенного имитационного моделирования и его реализация // Труды Шестого Международного семинара "Распределенная обработка информации". Новосибирск, 1998. — С. 147–151.
 21. Okol'nishnikov V.V., Rudometov S.V. Development of distributed simulation system // Lecture Notes Comput Sci. Berlin, 1998. Vol. 2763. — P. 524–527.