

На правах рукописи

УДК 519.876.5 (075)

МОНАХОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДИСКРЕТНЫХ, НЕПРЕРЫВНЫХ И
НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.18

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва

2006 г.

Сем

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированные системы обработки информации и управления» в Московском авиационном институте (Государственном техническом университете)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хахулин Геннадий Федорович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Бобронников Владимир Тимофеевич;
кандидат технических наук, доцент Карасев Сергей Спартакович

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие
Центральный научно-исследовательский институт (ФГУП
ЦНИИ) «Комета»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2006 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 в Московском авиационном институте (государственном техническом университете) по адресу: 125993, Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, дом 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского авиационного института (государственного технического университета).

Автореферат разослан «4» мая 2006 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.12

Кандидат технических наук, доцент



В.В. ДарноПых

2006А
10094

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Сущность и актуальность исследования. В процессе создания и исследования сложных систем важное место занимает имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей (ИМ) и проведение имитационных экспериментов (ИМЭ) позволяет оценить эффективность проектируемых систем, оптимизировать их структуру, обнаружить допущенные недоработки, проверить теоретические расчеты.

Вместе с тем, сама разработка адекватной и эффективной с вычислительной точки зрения ИМ является сложной и трудоемкой задачей. Для ее решения используются специальные программные комплексы - системы имитационного моделирования (СИМ), предоставляющие разработчику необходимые инструменты для создания ИМ и проведения ИМЭ. К сожалению, современные СИМ, основанные на агрегативном, либо процессно-ориентированном подходах к формализации, не могут обеспечить должной эффективности при моделировании сложных, комплексных систем, содержащих как дискретные, так и непрерывные части.

Выходом, как правило, становится использование событийного подхода, обладающего достаточной универсальностью для моделирования как дискретных, так и непрерывно-дискретных систем. Трудность состоит в том, что в данный момент событийные СИМ на рынке не распространены, а разработка соответствующих ИМ «с нуля» пагубно влияет как на сроки разработки, так и на общее качество полученных ИМ – их надежность, наглядность, адаптивность.

В такой ситуации становится актуальной разработка СИМ, использующей событийный подход к формализованному описанию систем и позволяющей создавать эффективные в вычислительном плане, обладающие высокой надежностью и адаптивностью ИМ дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных систем.

Объект исследования. Система имитационного моделирования для построения дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных ИМ.

Предмет исследования. Процесс разработки дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных ИМ.

Цель работы. Целью работы является снижение трудоемкости разработки дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных ИМ, повышение их наглядности, надежности и адаптивности, за счет создания и использования

универсальной визуальной событийно-ориентированной СИМ.

Задачи исследования. Для достижения поставленных целей были решены следующие научно-технические задачи:

1. Разработка методологии построения СИМ, включающей в себя концепции:
 - автоматизированной поддержки событийного подхода;
 - интеграции СИМ в среду разработки программного обеспечения (ПО);
 - инвариантности СИМ по отношению к классу моделируемых систем.
2. Реализация предложенной методологии в виде действующей СИМ Modelling
3. Демонстрация возможностей созданной СИМ Modelling на примерах разработки ИМ сложных технических систем.

Методы исследований. Поставленные задачи решались с использованием методов системного анализа, имитационного моделирования, объектно-ориентированного программирования, теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна:

1. Реализация автоматизированной поддержки событийного подхода для построения ИМ на основе графового представления структуры взаимосвязей временных и структурных модельных событий, используемого как на этапе формализации, так и на этапе создания имитационной программы (ИП).

2. Интеграция СИМ Modelling в среду разработки программного обеспечения (ПО) Delphi, что обеспечивает:

- быстроту освоения СИМ пользователями, знакомыми с указанной средой;
- автоматизированную поддержку разработки структуры ИМ и написания программного кода имитационной ИП;
- высокую эффективность программного кода ИП;
- отсутствие принципиальных ограничений со стороны ПО СИМ на возможность отображения моделируемых процессов любой природы и сложности;

3. Разработка универсального алгоритма продвижения модельного времени, основанного на комбинации метода модельных событий и метода фиксированного шага, позволяющего реализовать дискретные, непрерывные и непрерывно-дискретные ИМ, обеспечивающего контроль точности свершения структурных

событий, а также возможность управления изменением класса ИМ в процессе проведения ИМЭ.

На защиту выносятся следующие результаты исследований:

1. Разработанная методология построения универсальной визуальной событийно-ориентированной СИМ для разработки непрерывных, дискретных и непрерывно-дискретных ИМ, включающая концепции: автоматизированной поддержки событийного подхода, интеграции СИМ в среду разработки ПО, инвариантности СИМ по отношению к классу моделируемых систем.

2. СИМ Modelling, реализующая предложенную методологию, а так же комплекс средств, обеспечивающих вспомогательную функциональность: группировку элементов модели и использование векторных модельных переменных при разработке структуры ИМ, гибкую настройку структуры ИМЭ, средства интерактивной отладки ИМ и проведения ИМЭ, автоматизацию сбора статистики, визуализацию результатов ИМЭ, генерацию отчетов по разработанным ИМ.

Научная значимость работы заключается в развитии методов автоматизации построения событийно-ориентированных ИМ различных классов.

Практическая значимость

1. Реализация предложенной методологии построения универсальной визуальной событийно-ориентированной СИМ в виде действующей эффективной СИМ Modelling, автоматизирующей разработку событийных ИМ и работу с ними на всех стадиях технологического процесса: формализации ИМ, создания и отладки ИП, проведении ИМЭ, обработки и представлении результатов моделирования. Включенные в СИМ средства позволяют существенно сократить сроки разработки событийных ИМ, повысить наглядность, надежность и адаптивность получаемых моделей.

2. Использование СИМ Modelling при создании ИМ сложных технических систем и проведении имитационных исследований.

3. Использование СИМ Modelling как эффективного инструментального средства для поддержки учебного процесса по курсу «Компьютерное моделирование систем» на кафедре 302 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» МАИ.

Достоверность полученных результатов определяется обоснованным применением аппарата имитационного моделирования, результатами проведенных

имитационных экспериментов по исследованию реальных систем.

Внедрение результатов. Созданная СИМ Modelling была использована для разработки ИМ автоматизированной системы космического мониторинга подвижных морских объектов (АСКМ) по заказу ФГУП ЦНИИ «Комета», по хоздоговору на выполнении составной части ОКР «Создание программного обеспечения имитационной модели системы спутникового наблюдения для системы МШ-33» (№30110-03020, 3/к-2005).

СИМ Modelling активно используется на кафедре 302 МАИ для проведения лабораторных работ и курсового проектирования по курсу «Компьютерное моделирование систем», а так же для выполнения дипломных проектов.

Внедрение результатов работы подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на 9 научно-практических конференциях, а так же на V Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (НТТМ) 2005 г.

СИМ Modelling прошла патентование в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (свидетельство №2005611129).

Вклад автора в проведение исследований:

- разработка концепций, лежащих в основе разработанной СИМ и способов их реализации;
- разработка способов реализации комплекса вспомогательных инструментальных средств, упрощающих и облегчающих процессы разработки ИМ и проведения ИМЭ;
- разработка программной реализации СИМ Modelling;
- участие в разработке ряда ИМ сложных технических систем, демонстрирующих возможности СИМ Modelling.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 3-х отчетах по НИР и 9 печатных работах, а так же представлены на V Всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи (НТТМ) 2005 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 69 наименований. Объем диссертации 143 страницы машинописного текста, включает 60 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и приводится общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ задач построения имитационных моделей и трудностей их использования, рассмотрены различные подходы к имитационному моделированию и современные СИМ, осуществлена постановка задачи разработки универсальной визуальной событийно-ориентированной СИМ.

Важным достоинством ИМ является принципиальная возможность моделирования систем с любым уровнем детализации, любой сложности, а так же то, что создание ИМ находится на инженерном уровне, в то время, как разработка адекватных аналитических и численных моделей требует высокой научной квалификации. Но при всех достоинствах ИМ, они имеют ряд недостатков, сдерживающих их применение, основным из которых является высокая трудоемкость создания адекватных ИМ.

В настоящее время наиболее распространенными подходами к построению ИМ являются: агрегативный подход (разработанный в трудах Н.П. Бусленко и И.Н. Коваленко, основанный на понятии агрегата – математического объекта, функционирующего во времени) и процессно-ориентированный подход, наиболее известным и распространенным воплощением которого является язык GPSS, разработанный Дж. Гордоном. Еще одним способом формализованного описания систем является событийный подход, разработанный А. Прицкером. В этом случае процесс функционирования ИМ сводится к отслеживанию последовательности свершающихся в ней модельных событий – временных (появление которых можно планировать заранее) и структурных (свершающихся в моменты выхода переменных состояния на установленные ограничения).

Сравнение подходов показало, что различные подходы к моделированию по разному применимы для создания ИМ систем различных классов. Агрегативный подход подходит для разработки практически любых непрерывных моделей, но его использование затруднено для создания дискретных имитационных моделей (ДИМ) – высока трудоемкость описания агрегатов, теряется наглядность моделей, снижается вычислительная эффективность. Удобным для разработки ДИМ является процессно-ориентированный подход, наилучшим образом подходящий для разработки ИМ СМО, но моделирование с его помощью непрерывных процессов

невозможно, либо крайне неэффективно. Событийный подход, в отличие от процессно-ориентированного, обладает большей универсальностью и пригоден для разработки непрерывно-дискретных ИМ (НДИМ) любой сложности. Наглядность событийных моделей упрощает разработку глобальных сложных ИМ. Недостатками событийного подхода являются сложность формализации ИМ и трудоемкость разработки ИП, что может быть преодолено за счет использования современных средств автоматизации разработки ПО.

Указанные трудности делают актуальной задачу разработки универсальной событийно-ориентированной СИМ, обладающей рядом свойств для быстрой, простой и удобной разработки ИМ. Данная СИМ должна быть универсальной и обеспечивать средства для разработки дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных ИМ. Процесс разработки ИМ (на этапе создания структуры модели) должен быть визуальным. СИМ должна содержать средства формализованного описания моделей, в том числе: переменные состояния, средства задания взаимосвязи между модельными событиями, средства задания законов изменения структурных переменных, списковые структуры, генераторы независимых потоков случайных величин. СИМ должна обеспечивать поддержку действий пользователя на этапах проведения ИМЭ и отладки модели с помощью специализированных интерактивных средств. Для удобства освоения СИМ, описание алгоритмов ИМ должно производиться на распространенном языке программирования. Компилятор данного языка должен обеспечивать генерацию эффективного (по расходу памяти и скорости исполнения) машинного кода. Структура СИМ должна быть открытой для разработчиков ИМ, и поддерживать возможность легкого расширения и дополнения. СИМ должна обеспечивать автоматизацию на всем цикле разработки ИМЭ: разработке проекта ИМ, создания ИП, тестирования и отладки ИП, выполнения ИМЭ, анализа и представления результатов моделирования.

Создание СИМ, удовлетворяющей указанным требованиям, позволит решить актуальную в данный момент задачу быстрой и эффективной разработки ИМ комплексных систем, а так же обеспечит пользователей удобными вспомогательными средствами для проведения моделирования.

Во второй главе приводятся выработанные концепции построения универсальной событийно-ориентированной СИМ, рассматриваются методы их реализации, а так же рассматриваются способы реализации вспомогательных

инструментов СИМ.

Концепция автоматизированной поддержки событийного подхода - означает разработку системы, ориентированной на событийную формализацию ИМ, и включение в СИМ всех необходимых средств обеспечивающих автоматизацию разработки ИМ в рамках данного подхода. Подразумевается включение в СИМ средств для визуальной разработки граф-схемы взаимосвязи временных и структурных событий на этапе формализации (рис. 1), а так же использование полученной схемы в процессе разработки имитационной программы и проведения ИМЭ.

Данная концепция может быть реализована в СИМ, с использованием специальных средств формализации - визуальных компонентов: Модельных Событий, Связей Планирования и Отмены, которые должны позволить разработчику визуально конструировать граф взаимосвязи модельных событий. Эти же компоненты должны задавать индивидуальные наборы дополнительных атрибутов для событий модели и приоритеты событий.

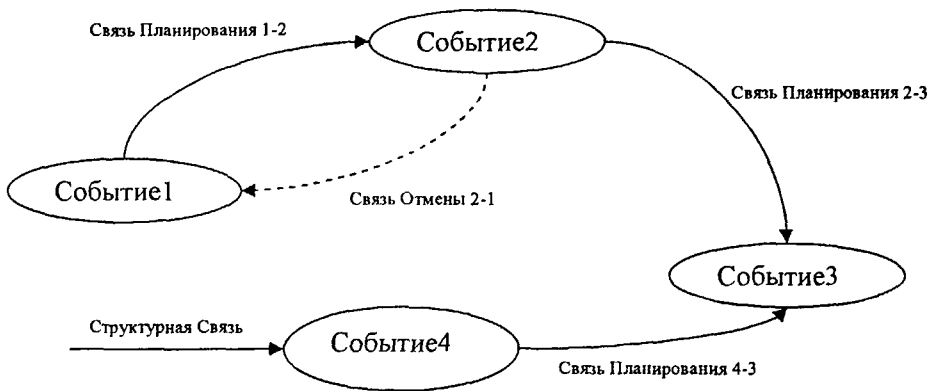


Рис. 1 Пример графа взаимосвязи Модельных Событий

Созданный граф взаимосвязи событий выполняет не только «декоративную» роль, но и практическую - он задает структуру имитационной программы. С точки зрения алгоритма моделирования, события и связи рассматриваются как специализированные элементы модели - их взаимосвязи анализируются при проведении моделирования, и в процессе прогона модели происходит автоматическое выполнение алгоритмов обработки событий, процедур их планирования и отмены, соответствующих заданным событиям и связям.

Важную роль в формализации НДИМ выполняют структурные события. В СИМ таким событием может быть любое Модельное Событие, к которому ведет структурная связь – Связь Планирования без события-источника. В процессе выполнения прогона после выполнения обработки любого события (либо – пересчета переменных состояния в непрерывно-дискретных ИМ) происходит проверка структурных связей и отслеживание свершения структурных событий.

Концепция интеграции СИМ в широко распространенную среду разработки ПО – состоит в том, что при таком подходе уже существующая среда разработки ПО (IDE – интегрированная среда разработки), активно используемая многими программистами, должна быть дополнена средствами для разработки ИП. В качестве такой среды при разработке СИМ была выбрана Borland Delphi, основанная на широко распространенном языке Pascal, легкая в освоении и обладающая развитыми визуальными средствами разработки.

Интеграция СИМ в среду Borland Delphi позволила реализовать идею *визуального конструктора*, который предоставил бы пользователю возможность создавать структуру ИМ визуальным способом, используя готовый набор типовых элементов, а также задавать их характеристики при помощи экранных форм (рис. 2).

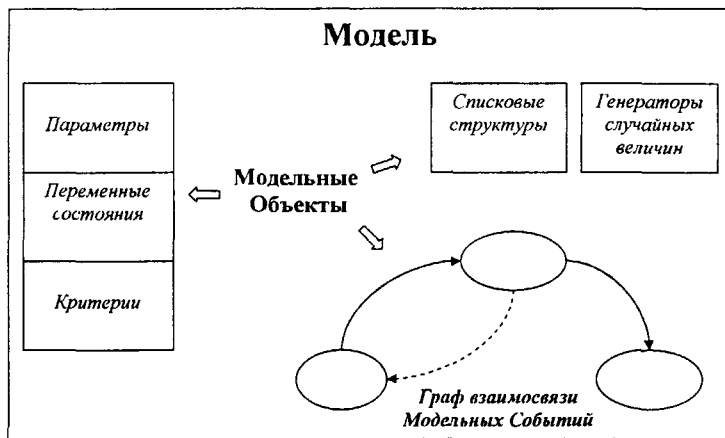


Рис. 2 Модель и Модельные объекты

Основой такого конструктора – «строительной площадкой» - должен стать компонент-контейнер Модель, на котором размещаются «кирпичики» - элементы модели (Модельные Объекты), представляющие собой универсальные базовые

элементы, необходимые для построения ИМ, в том числе:

- События и Связи (планирования и отмены)– для задания графа взаимосвязи модельных событий;
- Модельные Переменные – для задания в модели параметров, переменных состояния, критериев оценки результатов моделирования;
- Списковые Структуры – для реализации в модели очередей, стеков, списков и т.п.;
- Генераторы потоков псевдослучайных величин.

При такой постановке, объект Модель должен включать в себя функциональность по хранению Модельных Объектов, а при выполнении моделирования реализовывать необходимые для проведения ИМЭ алгоритмы. Модельные Объекты должны реализовывать необходимую индивидуальную функциональность в соответствии с их задачами, а так же обеспечивать поддержку общих функции для управления состоянием объектов и взаимодействия с Моделью в процессе проведения ИМЭ. Это может быть реализовано с использованием средств объектно-ориентированного программирования, наследованием всех необходимых Модельных Объектов от некоторого виртуального базового класса.

Интеграция в Delphi свелась к реализации ряда механизмов (рис. 3).

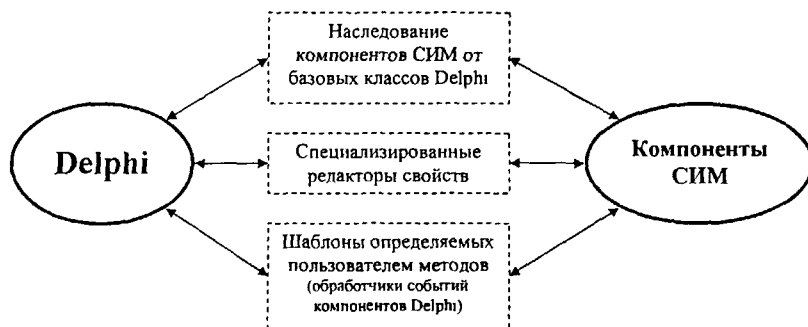


Рис. 3 Механизмы интеграции

Для обеспечения поддержки средой (в том числе, средствами визуальной разработки) базовые классы СИМ были унаследованы от базовых классов Delphi. Для удобства настройки параметров Модели и Модельных Объектов и использования для этого собственноручно разработанных экранных форм был разработан ряд специализированных редакторов свойств.

Для автоматизации этапа программирования ИМ был использован механизм

шаблонов процедур и функций, поддерживающийся в среде Delphi. Структура алгоритма проведения ИМЭ жестко задана в СИМ, но действия, которые должны выполняться в соответствии с логикой работы модели по достижению им определенных шагов, задаются (программируются) разработчиком ИМ (рис. 4) Для определения этих действий в Модели и Модельных Объектах используются заданные заранее шаблоны процедур и функций.

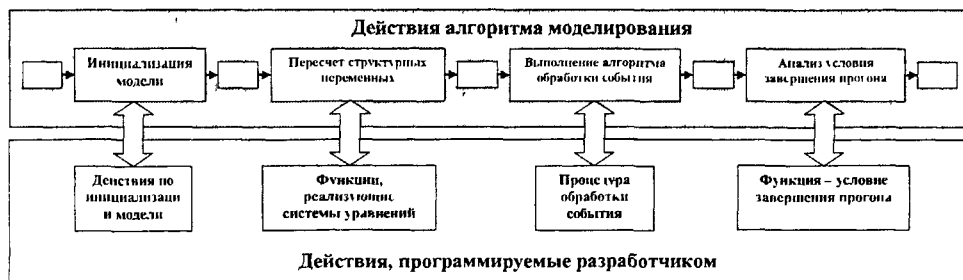


Рис. 4 Схема построения алгоритма моделирования

Концепция инвариантности СИМ по отношению к классу моделируемых систем – означает возможность разработки ИМ как дискретного, так и непрерывно-дискретного классов. Данная концепция реализуется включением в СИМ дополнительных средств формализации для задания законов непрерывного во времени изменения переменных состояния - так называемых «структурных переменных» (СП), в виде алгебраических уравнений в форме:

$X[i] = f(t)$, где $X[i]$ – компонента векторной СП X , f -функция, задающая зависимость от времени;

либо дифференциальных уравнений любого порядка в форме Коши:

$X^n[i] = f(t, X[i], X'[i], \dots, X^{n-1}[i])$, где $X^n[i]$ – n -ая производная i -ой компоненты векторной СП X .

Группы СП образуют в ИМ независимые системы уравнений. Пересчет СП выполняется при помощи библиотек Simulate. СИМ генерирует систему уравнений, и задает алгоритм для выполнения численного интегрирования. При необходимости расчета СИМ задает начальные условия интегрирования и передает управление библиотекам Simulate, которые выполняют необходимые действия и возвращают рассчитанные значения.

Алгоритм осуществления прогона НДИМ и продвижения модельного времени реализуется на основе комбинации метода модельных событий (ММС) и метода

фиксированного шага (МФШ). Алгоритм способен производить поиск времени свершения структурных событий с заданной точностью (задаваемой отдельно для каждой структурной связи), поддерживается возможность коррекции шага дискретизации в ручном режиме, есть возможность изменения класса модели в процессе ИМЭ включением и отключением динамического пересчета СП, в зависимости от необходимости отслеживания их изменения в соответствии с логикой ИМ.

Для поддержки пользователя на всех этапах моделирования в СИМ реализуется комплекс вспомогательных инструментов.

Для упрощения разработки крупных ИМ и удобства их структурирования в СИМ реализован механизм группировки однотипных элементов модели. В СИМ включены группы модельных переменных, списковых структур, генераторов случайных величин. Компоненты-группы являются «прозрачными» с точки зрения алгоритмов моделирования, передавая вызовы дочерним объектам, корректируя лишь процессы отрисовки данных объектов на экране. Обращение к сгруппированным объектам может осуществляться как по имени, так и по индексу в группе. Возможно отображение группы элементов в полном размере, либо свернутом виде - для экономии места.

Целям упрощения разработки сложных масштабируемых ИМ служит векторность модельных переменных. Данный механизм реализован в СИМ специализированными классами и компонентами, которые представляют собой для пользователя векторные переменные различных типов. Данные классы и компоненты содержат внутри себя динамические массивы данных соответствующих типов (целые, действительные, булевы величины, а также указатели), и обеспечивают для пользователя прозрачный доступ к их элементам (с использованием механизма «свойства по-умолчанию» Delphi), а так же автоматическое изменение размерности при задании размеров переменных. Возможно представление переменных в виде различных массивов (линейных, матриц, массивов произвольной размерности).

Для удобства интерактивного контроля ИМЭ предусмотрен специальный компонент – контроллер модели, реализующий пользовательский интерфейс для запуска процесса проведения ИМЭ, его приостановления (установка в режим паузы) и полной остановки при необходимости. Контроль за внутренним состоянием ИМ и

ее элементов в процессе ИМЭ реализуется с помощью механизма «информационных окон» - специализированных экранных форм, предоставляющих исчерпывающую структурированную информацию о выбранном объекте. Для каждого типа Модельных Объектов может быть разработан свой индивидуальный тип информационного окна, позволяющий удобно вывести на экран всю необходимую информацию о состоянии элемента модели, а так же интерактивно управлять параметрами элементов в процессе моделирования.

Ряд включенных в СИМ инструментов служит для упрощения процесса отладки ИП. Для осуществления возможности приостановления моделирования на паузу в алгоритме моделирования предусмотрены характерные точки останова (например: до обработки события, после, по завершению пересчета структурных переменных и другие). Активностью этих точек можно управлять программно или интерактивно. Подобные точки останова реализуются и для ряда Модельных Объектов – возможно интерактивное задание условий остановки на паузу в зависимости от значения модельной переменной или показателя списковой структуры (длины, заполненности, количества занесенных/извлеченных записей).

В СИМ предусмотрены развитые средства для вывода трассировки, поддерживающие одновременный вывод информации в окно трассировки и сохранение данных в текстовом файле. Возможен контроль выводимой трассировки, для быстрой смены ее детализации без модификации программного кода. Для удобства пользователя у Модели и Модельных Объектов предусмотрены функции получения текстовой информации об их состоянии, а так же автоматический вывод информационных блоков данных в заданные моменты в процессе проведения ИМЭ, например: изменение состояния модели (начало/завершение прогонов), свершение модельного события, изменение значения модельной переменной, и др.

В СИМ включены средства для автоматизации сбора статистики, в основе реализации которых лежит понятие Статистического Объекта (СО). Модельные Объекты, поддерживающие автоматизацию сбора статистики, содержат внутренние наборы СО. При изменении состояния Модельный Объект автоматически обновляет данные в СО. Для снижения вычислительной сложности используется специальная схема сбора статистики, уменьшающая затраты на данные операции (рис. 5).

Для переменных и списковых структур может быть задан набор статистических характеристик, которые должны рассчитываться в процессе проведения ИМЭ.

Среди этих характеристик: минимум и максимум реализаций, МО, дисперсия, взвешенные по времени МО и дисперсия, коэффициенты корреляции и др. Одновременно производится расчет погрешностей полученных оценок. Эти же средства должны осуществлять построение гистограмм различных типов и составление массивов полной истории изменения переменных и показателей в процессе ИМЭ. Результаты этих расчетов могут быть получены и использованы в любой момент времени моделирования.

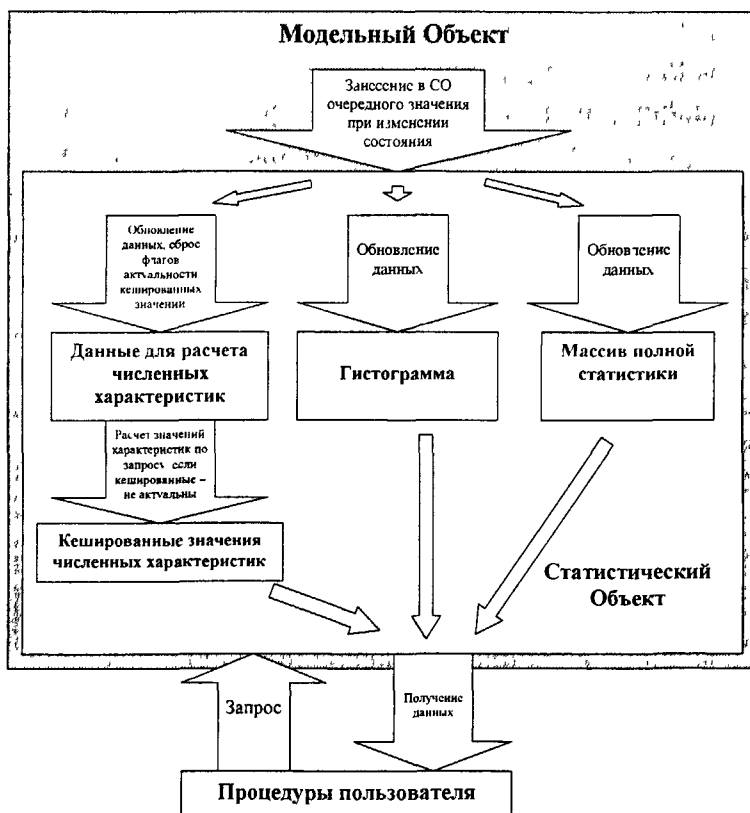


Рис. 5 Схема работы Статистических Объектов

Включенные в СИМ средства организации структуры ИМЭ обладают прекрасной гибкостью и позволяют организовать любые виды ИМЭ: от проведения единственного прогона заданного варианта ИМ, до организации комплексных исследований с проведением серий прогонов для различных вариантов модели (включая организацию процедур подбора оптимальных параметров в соответствии с

заданными критериями).

В СИМ включены все необходимые средства для проведения независимых прогонов, реализации зависимых испытаний, использования данных натурных экспериментов. Возможно выполнение связанных ИМЭ для нескольких моделей, как в «подчиненном» варианте (когда основная ИМ для внутренних расчетов выполняет прогоны дочерней модели), так и «равноправном» (когда параллельно выполняются несколько взаимодействующих ИМ). В СИМ на уровне алгоритма продвижения модельного времени заложены средства синхронизации с реальным временем, позволяющие организовывать интерактивные ИМЭ.

В СИМ включены развитые средства визуализации результатов ИМЭ, позволяющие отображать моделируемые объекты и процессы нужным пользователю способом. Реализация данной концепции основана на двух взаимосвязанных элементах СИМ: диалоге визуализации (служащего для вывода графической информации) и объектах, выполняющих отрисовку заданных данных - рендерерах (от англ. *render* – «представлять», «отображать»), являющихся, по сути, программной прослойкой между неким набором исходных данных и необходимым изображением. В СИМ включены классы рендереров, предназначенные для вывода графиков изменения переменных и построенных гистограмм, а так же, позволяющие разработчику самостоятельно запрограммировать вывод данных любой сложности. Рендереры автоматически осуществляют преобразование выводимых объектов (линий, текстов, рисунков, геометрических фигур) в соответствии с заданными в диалоге визуализации настройками изображения и производят их вывод в область отрисовки диалога.

Еще одним способом представления результатов является встроенный в СИМ механизм генерации отчетов по структуре разработанной ИМ, реализованный в специальном компоненте. Данный компонент по запросу пользователя анализирует структуру Модели и создает отчет, включающий в себя графическое изображение структуры ИМ и развернутую текстовую информацию о Модельных Объектах. Механизм поддерживает возможность сохранения отчета в различных форматах файлов.

В третьей главе рассмотрена реализация СИМ Modelling: приводится структура разработанных программных модулей, указываются ограничения, накладываемые на использование СИМ, описывается технологический процесс

разработки ИМ при помощи СИМ.

СИМ Modelling разработана в среде Borland Delphi 7 на языке Object Pascal. Программные библиотеки содержат около 38 000 строк кода, размещенного в 74 модулях. Разработанный пользовательский интерфейс содержит 42 экранные формы.

Ограничения разработанной СИМ, с точки зрения программной части, проистекают, главным образом, от ограничений среды Delphi и используемой ОС MS Windows.

Ограничения СИМ, с точки зрения ее области применения, связаны с применимостью событийного подхода к тем или иным задачам моделирования: СИМ Modelling может быть успешно использована в тех случаях, когда функционирование моделируемой системы легко представляется в виде набора событий и связей между ними (например: сложные непрерывно-дискретные АСОИУ, большинство СМО), в противном случае использование данной СИМ будет неоправданно (например: сложные модели комплексов аналоговых электрических устройств, некоторые классы глобальных сложных СМО).

Технологический процесс создания ИМ и работы с ней в СИМ Modelling состоит из нескольких стадий (рис. 6).

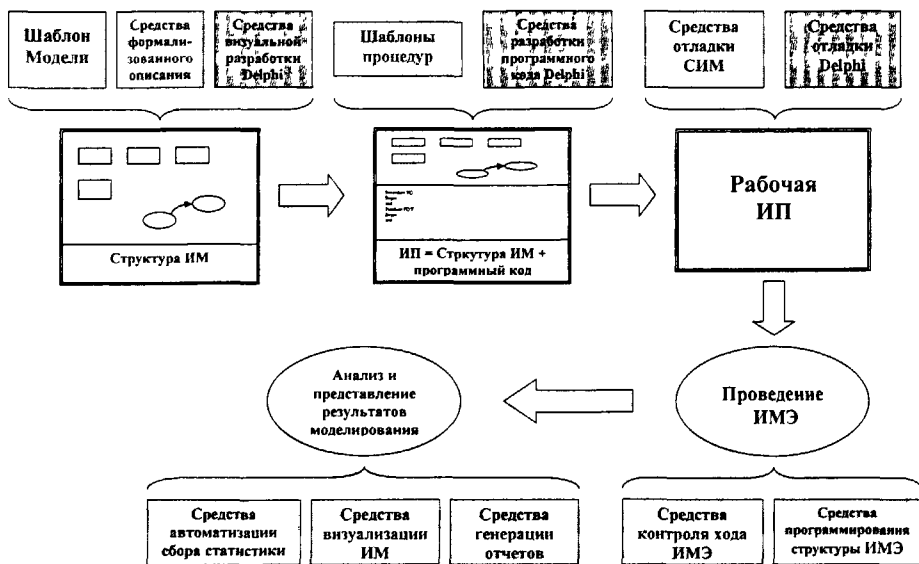


Рис. 6 Схема полного цикла моделирования

1. Формализованное описание моделируемой системы заключается в выделении основных событий, происходящих при ее функционировании, и установлении связей между ними. Определяются наборы параметров модели, переменных состояния, компонент критерия оценки результатов моделирования, необходимые списковые структуры и генераторы псевдослучайных величин. Действия по формализованному описанию заключаются в добавлении соответствующих компонентов в модель, задании их параметров, настройке связей между ними (рис. 7).

2. Программирование ИМ заключается в описании действий, соответствующих логике конкретной модели, например: изменение переменных в алгоритмах обработки модельных событий, задание условий срабатывания связей, описание условия завершения прогона и др. При работе с СИМ Modelling программирование данных действий сводится к реализации заданных в компонентах Modelling шаблонов процедур и функций («events» - в терминологии Delphi).

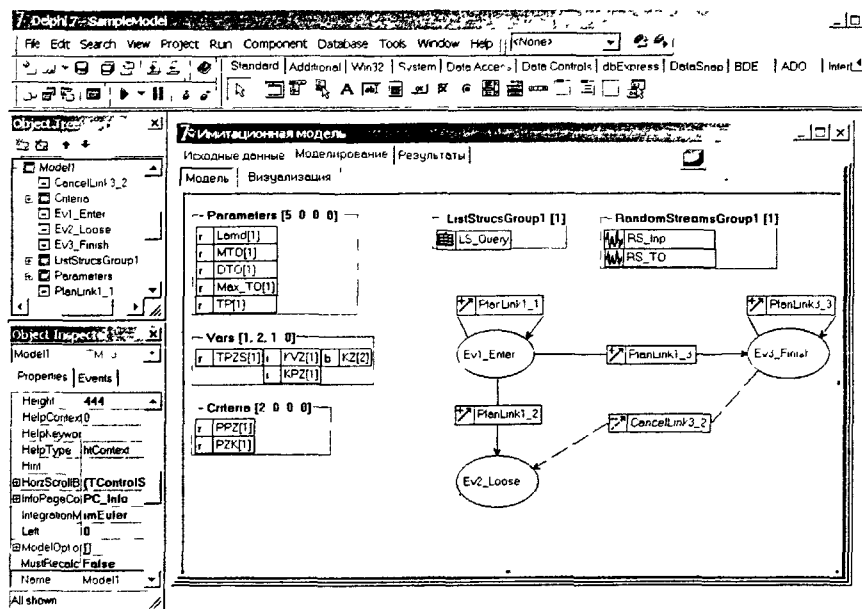


Рис. 7 Заполненная модель

3. Отладка ИП (рис. 8), производится с использованием набора специализированных инструментов (контроллера модели, информационных окон, точек останова, средств вывода трассировки).

4. Проведение ИМЭ осуществляется с использованием средств настройки структуры эксперимента (шаблонов функций, контролирующих работу алгоритма моделирования) и интерактивных средств контроля хода ИМЭ.

5. Анализ результатов ИМЭ автоматизируется средствами сбора статистики. Представление результатов моделирования может быть выполнено при помощи средств визуализации ИМ, а так же – генерации отчетов по разработанным моделям.

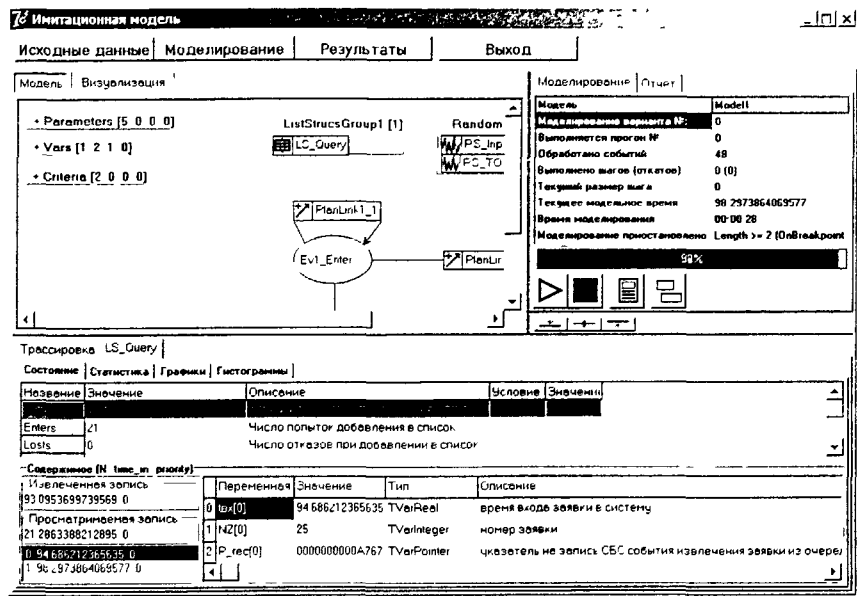


Рис. 8 Отладка ИП – сработавшая точка приостанова
и информационное окно списковой структуры

В четвертой главе описывается применение СИМ Modelling в учебном процессе на кафедре 302 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» МАИ, а так же приводится описание реального примера разработки ИМ автоматизированной системы космического мониторинга подвижных морских объектов (АСКМ) с использованием СИМ Modelling, в контексте демонстрации возможностей СИМ по разработке и отладке моделей, проведения ИМЭ, обработке и визуализации результатов моделирования.

На протяжении последних двух лет СИМ Modellig используется на кафедре 302 МАИ в качестве одного из основных средств обеспечения учебного процесса по курсу «Компьютерное моделирование систем». Данная СИМ является

инструментом для проведения лабораторных работ, выполнения курсового и дипломного проектирования. Легкость освоения и удобство использования СИМ позволяют студентам в условиях ограниченного времени разрабатывать модели различных систем и проводить заданные имитационные эксперименты. Среди учебных примеров: модели работы торговых сетей, различные модели СМО, описывающие объекты из реальной жизни (аэропорты, библиотеки, морские порты, магазины), модели производственных систем и вычислительных сетей, непрерывно-дискретные модели технических систем – радиолокаторов, летательных аппаратов и др.

Разработанная для ФГУП ЦНИИ «Комета» ИМ АСКМ представляет собой сложную НДИМ (рис. 9). Непрерывная часть представлена в виде движущихся по высоко- и низко- эллиптическим орбитам космических аппаратов (КА) радиолокационного наблюдения, радиотехнического наблюдения и видового наблюдения, обрабатывающих и ретранслирующих данные на наземные информационные комплексы (НИК), а так же движущихся по заданным траекториям наземных объектов - потребителей информации (ПИ) и объектов наблюдения (ОН). При помощи временных событий моделируются процессы обмена информацией между объектами модели (передача данных между КА, НИК и ПИ). Структурные события используются для определения моментов входа ОН в зону видимости КА, входа ПИ в зону связи, входа КА в зону ответственности НИК.

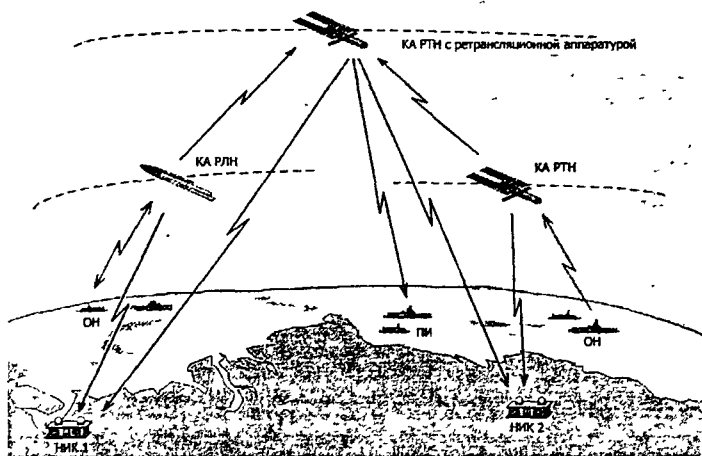


Рис. 9 Схема функциональной структуры АСКМ

В первую очередь, на базе разработанной ИМ (рис. 10) был проведен ряд ИМЭ и решена задача оценки влияния состава орбитальной группировки КА на эффективность работы системы по заданным критериям. Была разработана специализированная СИМ АСКМ, которая стала удобным инструментом для проведения различных ИМЭ в рамках разработки системы мониторинга.

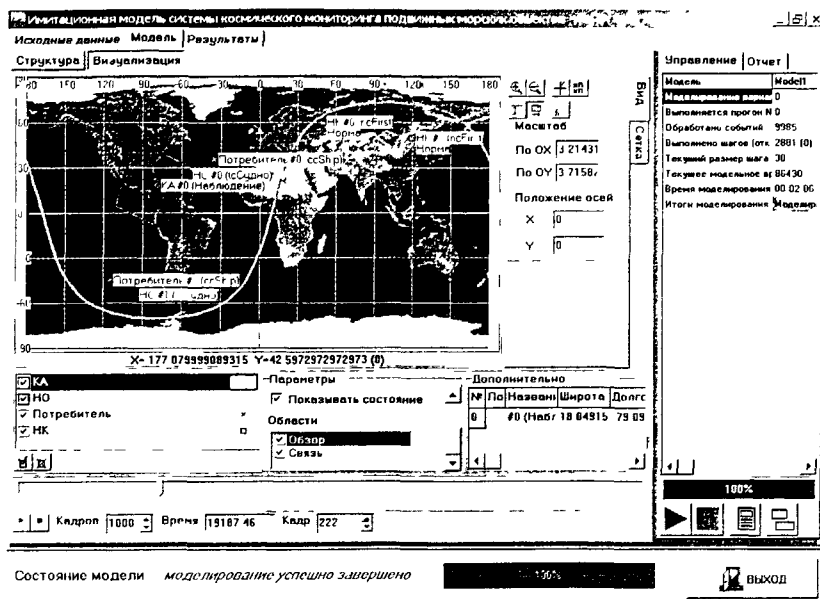


Рис. 10 Внешний вид визуализации ИМ АСКМ

Использование СИМ Modelling позволило существенно снизить трудоемкость создания ИМ данного класса (сроки разработки были сокращены с примерно 1.5 лет до 3 месяцев, а коллектив непосредственно занятых разработчиков с 4-5 человек до 1-2-х). Адаптивность разрабатываемой ИП позволила легко модифицировать модель по мере поступления от заказчика уточнений и дополнительных требований.

В целом, по результатам проведенных работ, СИМ Modelling зарекомендовала себя как удобный, гибкий и надежный инструмент для разработки ИМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Поставлена актуальная задача и разработана методология построения универсальной событийно-ориентированной визуальной СИМ, которая включает набор концепций, обеспечивающих эффективность процесса разработки дискретных, непрерывных и непрерывно-дискретных ИМ.

2. Определены подходы к реализации сформулированных концепций построения СИМ на основе интеграции инструментальных средств СИМ в среду разработки ПО Borland Delphi.

3. На основе разработанной методологии создана СИМ Modelling, обеспечивающая надежность, наглядность и адаптивность разработанных ИМ, высокую степень автоматизации и визуализации процесса имитационного моделирования на ключевых этапах: формализации ИМ, разработки ИП, проведения ИМЭ, анализа и представления результатов моделирования.

4. Программная реализация СИМ Modelling имеет объем около 38 000 строк программного кода и зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (свидетельство №2005611129).

5 Разработанная СИМ показала высокую эффективность при создании ИМ автоматизированной системы космического мониторинга подвижных морских объектов АСКМ по заказу ФГУП ЦНИИ «Комета». Использование включенных в СИМ инструментов существенно снизило трудоемкость разработки. По сравнению с созданием аналогичных ИМ программированием «с нуля», использование СИМ Modelling позволило сократить сроки разработки с примерно 1.5 лет до 3 месяцев, а число разработчиков с 4-5 человек до 1-2-х. Кроме того, существенно повысилась наглядность разработанных ИМ, их надежность и возможности по визуализации моделируемых процессов.

6. СИМ Modelling является одним из основных инструментальных средств, обеспечивающих учебный процесс по курсу «Компьютерное моделирование систем» на кафедре 302 «Автоматизированные системы обработки информации и управления» МАИ. С ее помощью осуществляется проведение лабораторных работ, а так же курсовое и дипломное проектирование. Эффективность СИМ подтверждается тем, что студенты в условиях ограниченного во времени учебного процесса успешно осуществляют полноценную разработку ИМ систем различной сложности и классов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Монахов С.В. Система имитационного моделирования «Modelling». Сборник трудов VII межрегиональной научно-практической конференции «Научное творчество молодежи», Кемеровский государственный университет, 2003, стр. 92-94.

2. Монахов С.В. Система для разработки дискретных имитационных моделей. XII Международный научно-технический семинар «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации», Алушта, 2003, стр. 376-377.
3. Монахов С.В. Хахулин Г.Ф. Система имитационного моделирования «Modelling». Сборник статей научно-исследовательских, проектно-конструкционных и технологических работ студентов, молодых ученых и инженеров «Проблемы создания перспективной авиационной техники». М.: МАИ, 2003, стр. 221-224.
4. Монахов С.В., Хахулин Г.Ф. Визуальная система имитационного моделирования «Modelling». Седьмая Всероссийская научная конференция молодых ученых и аспирантов «Новые информационные технологии. Разработка и аспекты применения», Таганрог, 2004, стр. 180-183.
5. Монахов С.В. Визуальная система имитационного моделирования «Modelling». II Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности и экологии», Москва-Тула, 2004, стр. 66-68.
6. Монахов С.В. Автоматизированная система имитационного моделирования «Modelling». Всероссийская научная конференция «Управление и информационные технологии», Санкт-Петербургский государственный университет «ЛЭТИ», 2002.
7. Втулкина П.С., Новиков С.А., Хахулин Г.Ф., Монахов С.В. «Разработка имитационной модели автоматизированной системы космического мониторинга подвижных морских объектов». 4-я международная конференция «Авиация и космонавтика – 2005». Тезисы докладов. М.: МАИ, 2005, Стр. 58.
8. Втулкина П.С., Новиков С.А., Хахулин Г.Ф., Монахов С.В. «Разработка имитационной модели возмущенного движения космического аппарата для решения задач наземного комплекса управления». 4-я международная конференция «Авиация и космонавтика – 2005». Тезисы докладов. М.: МАИ, 2005, Стр. 59.
9. Монахов С.В., Хахулин Г.Ф. Система интерактивного имитационного моделирования «Modelling». V Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи (НТТМ) 2005. Москва, 2005, 2 страницы.
10. Отчет по НИР №30110-03020 (3/к-2005). Создание программного обеспечения

2006 А
10094

№ 10094

имитационной модели системы спутникового наблюдения для системы МШ-33.

Руководитель работы Г.Ф.Хахулин. М.: МАИ, 2005, 162 страницы.

11. Отчет по НИР №302-05-02. Разработка и проектирование орбитальной группировки космических аппаратов в рамках создания системы глобального мониторинга земной поверхности. Ведомственная научная программа "Развитие научного потенциала высшей школы". Подпрограмма 3: «Развитие инфраструктуры научно-технической и инновационной деятельности высшей школы и развитие ее кадрового потенциала». Раздел: «Развитие системы научно-исследовательской работы молодых преподавателей и научных сотрудников, аспирантов и студентов». Руководитель работы Г.Ф.Хахулин. М.: МАИ, 2005, 104 страницы.
12. Отчет по НИР 1.6.01 "Создание основ теории и моделирование систем управления, навигационных приборных комплексов и электроэнергетических систем летательных аппаратов". Разработка рекомендаций по моделированию систем управления навигационных приборных комплексов и электроэнергетических систем летательных аппаратов. Руководитель работы В.А.Постников. М.: МАИ. 2005, Государственная регистрация N 01200110876, 199 страниц.
13. Монахов С.В. Система быстрой разработки непрерывно-дискретных имитационных моделей «Modelling». XIV Международный научно-технический семинар «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации», Алушта, 2005, стр. 257.

Множительный центр МАИ

Зак. от 04.05.2006 г. Тир. 80 экз.