## Грибанова Екатерина Борисовна

# АЛГОРИТМЫ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИКЛАДНОЙ ЭКОНОМИКИ

Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

#### АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Мицель Артур Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Сущенко Сергей Петрович

(Томский государственный университет)

кандидат технических наук, доцент Кочегуров Александр Иванович

(Томский политехнический университет)

Ведущая организация: Новосибирский государственный университет

экономики и управления

Защита состоится 5 марта 2009г. в 17-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.268.02 при Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники по адресу: 634050, г.Томск, пр. Ленина, 40, ком. 203.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники по адресу: г. Томск, ул. Вершинина, 74

Автореферат разослан 3 февраля 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.268.02 к.т.н.

Р.В. Мещеряков

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

#### Актуальность

Имитационное моделирование является мощным инструментом исследования сложных бизнес-процессов и систем и позволяет решать трудноформализуемые задачи в условиях неопределенности. Поэтому данный метод позволяет совершенствовать системы поддержки принятия решений, улучшая тем самым экономические показатели организаций, уменьшая риск от реализации решений и экономя средства для достижения той или иной цели. Многие крупные компании (Xerox, Motorola, IBM, Intel, Ford) используют программы, предоставляющие возможность имитации принимаемых решений и исследования возможных изменений в экономической системе, возникающих в результате действия различных факторов, т.е. позволяющие выполнять проверку гипотез «что будет, если...». Кроме того, различными университетами создаются учебные программы-имитаторы для подготовки специалистов и выработки у них навыков принятия решений в сложившейся ситуации.

Считается, что Т. Нейлор был одним из первых, кто применил методы имитационного моделирования для исследования экономических процессов. Его монография «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем» легла в основу многих последующих работ по имитационному моделированию экономических процессов.

Реализация имитационных моделей может быть выполнена с помощью различных средств: языков программирования, стандартных пакетов прикладных программ, языков и сред моделирования. Считается, что основным недостатком имитационных моделей, реализуемых с помощью универсальных языков программирования, пакетов прикладных программ, является их специфичность и сложность повторного использования. С другой стороны, среды моделирования могут включать избыточные функции и не всегда позволяют рассматривать особенности исследуемой области, всех возможных правил системы.

В связи с этим возрастает интерес к использованию объектноориентированного подхода при разработке архитектуры программы, т.к. это позволяет создать инструмент, который может обеспечить с одной стороны хорошую поддержку специфичных задач имитации, а с другой расширяемость, интеграцию моделей различных типов. К преимуществам данного подхода, появление которого связано с возникновением языка SIMULA в начале 60-х годов прошлого века, относят более простую модификацию полученных решений, возможность использования существующего программного кода для создания новых разработок, а применяемые концепции (объект, класс, наследование, сообщение) нередко соответствуют нашему способу видения вещей в исследуемой области реального мира. В настоящее время с помощью данного подхода разрабатываются различные инструменты для решения задач в экономике. Предпринимаются попытки создания как универсального средства (пакеты Pilgrim, AnyLogic), так и предметноориентированных систем, осуществляющих имитацию цепей поставок (SISCO, D-SOL, SCSF), систем массового обслуживания (SimJAVA, ObjectSim), отдельных агентов (RePast, AScape), торгов (JASA, Имитрейд) и т.д. Кроме того, разрабатываются различные библиотеки классов (например, Java Simulation Library, MoTor, Supply Chain Training Library), использование которых может значительно упростить создание программ.

Однако, несмотря на довольно многочисленное число разработок в этой области, в литературе отсутствуют работы, посвященные созданию программ с поэтапным выполнением имитации. Здесь каждый этап может представлять своеобразный «срез» алгоритма имитации, который приводит к появлению моментов останова моделирования. На основе подобной структуры можно реализовать программы, требующие выполнение каких-либо действий пользователя прежде перехода к следующему этапу. Данные условия довольно часто используются в имитационных деловых играх и тренажерах. Кроме того, применение поэтапной имитации позволяет работать с программой в ручном режиме, когда пользователь самостоятельно управляет модельным временем (режим, в котором данное действие выполняется программно обычно называется автоматическим, а под классическим режимом понимается ситуация, когда продвижение модельного времени осуществляется автоматически, а моменты останова имитации отсутствуют), имея при этом возможность изменять значения входных параметров в различных периодах.

Таким образом, создание подходов к разработке программных комплексов имитационного моделирования экономических объектов, в том числе обеспечивающих поэтапное выполнение имитации, разработка расширяемых шаблонов и каркасов для решения задач в определенной области, применение которых позволяет экономить действия разработчиков путем использования в качестве базиса существующей иерархии классов и механизмов, является, по мнению автора, актуальной задачей. Для описания архитектурных решений будет применен The Unified Modeling Language (UML).

## Цель работы

Целью данной работы является разработка моделей, алгоритмов и программных комплексов, обеспечивающих поэтапную имитацию экономических объектов.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1. Разработка имитационных моделей экономических объектов; создание алгоритмов имитации.
- 2. Разработка архитектур программных комплексов, обеспечивающих поэтапную имитацию экономических объектов, в том числе систем управления запасами и аукционов, регулируемых Федеральным законом  $N_2$  94.
- 3. Реализация программных комплексов имитационного моделирования экономических объектов: «Запас», «Имитатор», «Аукцион».

#### Методы исследования

При выполнении диссертационной работы использовались методы имитационного моделирования и Монте-Карло, принципы объектно-ориентированного анализа и проектирования, теория управления запасами, теория массового обслуживания и методы математической статистики.

#### Научная новизна

Научная новизна данной диссертационной работы заключается в следующем:

- 1.Предложен подход к созданию программных комплексов имитационного моделирования экономических объектов, который, в отличие от существующих, основан на декомпозиции моделирующего алгоритма и представлении его в виде графа решения задачи.
- 2.Впервые предложена имитационная модель торгов, проводимых с целью поставки товаров и услуг для государственных, муниципальных нужд.
- 3. Разработаны три архитектуры программных комплексов, выполняющих имитацию объектов прикладной экономики, в том числе систем управления запасами и аукционов. Основное отличие от базовой архитектуры заключается в использовании циклических обходов графа решения задачи.

#### Практическая значимость

Практическая значимость результатов работы заключается в следующем:

- 1. Программные комплексы «Имитатор» и «Запас» могут быть использованы студентами ВУЗов в качестве лабораторного практикума при изучении дисциплин «исследование операций в экономике», «имитационное моделирование экономических процессов».
- 2. Программный комплекс «Аукцион», в основе которого лежит имитационная модель аукциона, позволяет воспроизводить ход торгов, регулируемых Федеральным законом №94, с учетом поиска предпоследнего участника, и может быть использован специалистами в качестве инструмента исследования и обучения новым механизмам проведения аукциона. Проведенное с его помощью исследование позволило оценить характеристики исследуемых механизмов проведения торгов в выбранных условиях.
- 3. Разработанные архитектуры могут быть применены для создания новых программных комплексов имитационного моделирования в области экономики.

## Достоверность результатов

Достоверность результатов обусловлена применением общепризнанных теоретических законов и вычислительных алгоритмов; результатами проведенных численных экспериментов, которые были сопоставлены с данными, полученными другими авторами, а также рассчитанными с применением аналитических методов; привлечением специалистов, имеющих

сведения о том, как должна функционировать реальная система (для проверки результатов работы программы «Аукцион»); внедрением материалов диссертации в учреждения г. Томска.

#### Положения, выносимые на защиту

На защиту автором выносятся следующие основные положения:

- 1.Предложенный подход к разработке программных комплексов имитационного моделирования экономических объектов позволяет создавать программы, в которых имитация и решение смежных задач может выполняться поэтапно. На его основе разработаны три программных комплекса имитационного моделирования.
- 2.Имитационная модель торгов позволяет проводить исследование аукционов, регулируемых Федеральным законом от 21 июля 2005 года №94-ФЗ, в ходе выполнения которых определяется победитель и поставщик, сделавший предпоследнее предложение цены контракта.
- 3. Архитектуры программных комплексов «Аукцион», «Запас», «Имитатор», позволяющих в классическом либо ручном поэтапном режиме выполнять имитационное моделирование аукционов, регулируемых Федеральным законом №94, систем управления запасами и других объектов прикладной экономики.

#### Апробация работы

Результаты работы докладывались на следующих конференциях: «Научная сессия ТУСУР» в 2005, 2006, 2007 г., «Молодежь и современные информационные технологии», 2007 г., «Современное образование: традиции и новации», 2006 г., «Электронные средства и системы управления», 2007.

Доклады на конференциях Научная сессия ТУСУР 2005, 2006, 2007 были награждены дипломами второй, первой и второй степени соответственно. Студенческая работа «Система имитационного моделирования экономических объектов», представленная на всероссийский конкурс студенческих работ в 2005г., в первом туре, проходившем в ТУСУР, заняла первое место в номинации «студент», а на всероссийском конкурсе на лучшую научную работу по естественным, техническим и гуманитарным наукам отмечена дипломом Министерства образования и науки. Кроме того, на первом внутривузовском туре Открытого конкурса на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в 2006 году работа «Автоматизированная система имитационного моделирования управления запасами» была награждена грамотой.

# Публикации по теме работы

Публикации по теме работы. Основное содержание работы отражено в 31 публикации, из них 8 статей (в том числе 4 статьи опубликованы в журнале из списка ВАК), 7 учебных пособиях (из них 2 с грифом СибРумц). Кроме того, зарегистрированы 3 программы в ОФАП.

#### Личный вклад автора

Основные научные результаты получены автором самостоятельно. Постановка задачи была выполнена научным руководителем Мицелем А.А. Постановка задачи разработки имитационной модели аукциона, проверка работы программы «Аукцион» принадлежит Каштановой О.В. Реализация программ «Имитатор», «Запас» и «Аукцион» на языке высокого уровня выполнена автором.

#### Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников (103 наименований), а также приложений, включающих результаты экспериментов, описание программных комплексов и акты внедрения. Общий объем работы составляет 157 страниц.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дается обзор программных продуктов, поддерживающих имитационное моделирование. В первую очередь приводятся достоинства и недостатки использования универсальных языков программирования, стандартных прикладных пакетов программ, языков и сред имитационного моделирования. Далее рассматривается пакет Excel и язык программирования Java в качестве средств реализации имитационных моделей, а также дается обзор наиболее популярных систем имитационного моделирования — начиная с языков GPSS и SIMULA до современных отечественных и зарубежных инструментов: Anylogic, Arena и т.д.

Данная работа посвящена созданию программных комплексов, предоставляющих возможность поэтапного выполнения имитации системы и работы с реализованной программой в ручном режиме. При ее выполнении были использованы результаты, приведенные в диссертации Бойченко И.В. «Программное обеспечение моделирования, обработки и анализа данных лидарного зондирования газового состава атмосферы».

Во второй главе представлен подход к разработке программ имитационного моделирования объектов прикладной экономики, основанный на декомпозиции моделирующего алгоритма на этапы (рис.1) и представлении его в виде графа решения задачи. Полученная таким образом структура позволяет осуществлять следующие действия: контролировать результаты, полученные на каждом этапе; автоматически пересчитывать этапы при изменении параметров; применять различные методы решения локальных задач каждого этапа. Для ее реализации было использовано представление в виде многосвязного списка, каждый элемент которого является объектом класса «Узел» и может ссылаться на любое количество предков и потомков (для решения своей задачи «Узел» включает ссылку на класс «Расчет», содержащий метод «решение»). Модификация базовой архитектуры необходима в связи с динамическим характером рассматриваемых процессов и выполнением многократных прогонов имитационной модели и касается, прежде всего, процедуры обхода, циклически вызывающей узлы графа. Здесь возврат к

исходной вершине регулируется с помощью операторов проверки условий переходов (в качестве таких условий может, например, рассматриваться окончание периода моделирования или завершение прогона).

a)

б)

Рис. 1 – Построение графа решения задачи: а) этап схемы системы; б) пример графа решения задачи

Также для решения этой задачи могут быть использованы «циклические» узлы, вызывающие заданное количество раз себя и/или своих предков. Такое поведение реализуется в процедуре обхода с помощью атрибута «циклический» объекта класса «Узел».

Кроме того, можно отметить, что в зависимости от конкретной задачи помимо основных классов, приведенных в работе Бойченко И.В., могут быть созданы и дополнительные: предметно-ориентированные, выполняющие статистическую обработку и генерирование случайных чисел и величин и т.д. В случае использования описанного подхода изменение модельного времени будет происходить, как правило, с применением пошагового механизма.

Использование объектно-ориентированного подхода при разработке системы предоставляет возможность дальнейшей гибкой модификации и развития созданного программного обеспечения: добавления новых этапов, методов и др.

При выполнении работы было рассмотрено решение следующих задач в экономике:

- моделирование торгов, проводимых в соответствии с ФЗ № 94, с целью оценки характеристик их механизмов при условии определения предпоследнего участника и победителя;
- имитация систем управления запасами с целью определения временных и стоимостных показателей;
- моделирование экономических объектов (магазина, кредитного отдела банка, экскурсионной фирмы и т.д.) с целью их анализа.

**В третьей главе** рассматривается создание программного комплекса имитационного моделирования торгов, проходящих в форме аукциона, порядок проведения которого регулируется Федеральным законом N 94 от 21 июля 2005

года «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд».

Представлен обзор существующих разработок в области имитационного моделирования торгов, в частности дается описание биржевого тренажера Имитрейд (ВЦ РАН), системы имитации двойных аукционов JASA (University of Liverpool), многоагентной системы FM (Artificial Intelligence Research Institute), модели онлайн аукционов (Princeton University) и др.

Далее рассматривается процедура проведения аукциона, которую можно кратко описать следующим образом. Торги проводятся путем снижения начальной цены контракта на «шаг аукциона», устанавливающимся в размере пяти процентов начальной цены контракта, указанной в извещении о проведении аукциона. В случае если после троекратного объявления последнего предложения о цене контракта ни один из участников не заявил о своем намерении предложить более низкую цену, организатор торгов вправе снизить шаг аукциона на 0,5 процентов начальной цены контракта. При этом минимальный размер шага составляет 0,5 процента начальной цены контракта. Победителем признается лицо, предложившее наиболее низкую цену.

Если победитель аукциона уклонится от заключения контракта, заказчик имеет право заключить его с участником, который сделал предпоследнее предложение, что позволяет избежать повторного проведения торгов, требующего дополнительных затрат времени и денежных средств.

Поскольку Федеральный закон не регламентирует порядок определения участника аукциона, сделавшего предпоследнее предложение о цене контракта, то возникает вопрос о стратегии поиска.

Для исследования механизмов проведения аукциона, в ходе которого определяется победитель и предпоследний участник, и оценки их характеристик в выбранных условиях была разработана имитационная модель. Данная модель включает две взаимозависимые части: моделирование поведения участников и моделирование механизма аукциона (рис.2). Первая из них описывает поведение участников в зависимости от предложенной на данном шаге цены, а вторая - действия аукциониста, которые заключаются в изменении цены, шага аукциона и т.д.

Ограничения входных данных модели следующие:  $\times O > 1$ ;  $0 \le \hat{A}\tilde{N} - 1$ ;  $\ddot{E}\hat{I} > 0$ ;  $\ddot{N}\ddot{O} > 0$ ;  $\times D \ge 1$  (здесь  $\times O - 1$  число участников,  $\hat{A}\tilde{N} - 1$  вероятность выражения согласия,  $\ddot{E}\hat{I} - 1$  личные оценки,  $\ddot{N}\ddot{O} - 1$  стартовая цена,  $\times D - 1$  число случайных реализаций).

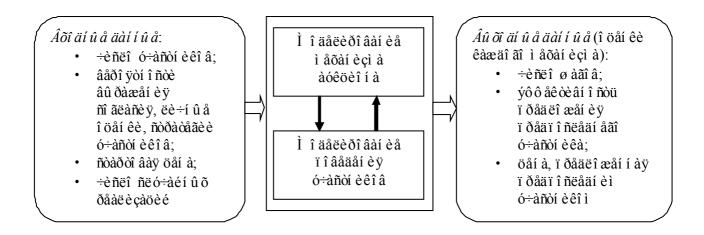


Рис. 2 – Имитационная модель аукциона

Входной параметр «стратегия участия» может принимать значения из множества стратегий, которые будут определены далее.

Сравнение механизмов проведения аукционов может быть выполнено с помощью следующих оценок:

- 1. число шагов, за которое достигнуто наилучшее значение цены контракта;
- 2. цена *Price*2, предложенная предпоследним участником;
- 3. эффективность  $Y\hat{o}\hat{o}$  сделки с предпоследним участником (или эффективность предложения предпоследнего участника).

Последний показатель может быть рассчитан по формуле

$$\dot{Y}\hat{o} \hat{o} = \frac{Price2 - \ddot{O}a' \hat{a} \hat{I} \hat{e}'}{Price2}$$

где  $\ddot{O}$ å $\dot{a}\dot{l}$   $\dot{e}i$  - личная оценка участника.

Таким образом, рассматривается задача многокритериальной оптимизации. Для выбора наиболее оптимального варианта можно применить критерий эффективности, представленный в следующем виде

$$F = \max\{F_j\},$$

$$F_j = \lambda_s \ E_{sj} +_{p\lambda} E_{pj}, \quad \neq E_{ej},$$

где  $\lambda_s$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_e$  - коэффициенты важности числа шагов, предложения предпоследнего участника и эффективности предложения предпоследнего участника соответственно;

 $E_{sj},\ E_{pj},\ E_{ej}$  - нормированные значения числа шагов, предложения предпоследнего участника и эффективности предложения предпоследнего участника соответственно (  $^j$  - номер механизма);

 $F_j$  - значение показателя эффективности.

Моделирование механизма аукциона может быть выполнено согласно следующим схемам поиска предпоследнего участника:

- 1. На каждом шаге аукциона фиксируется последнее и предпоследнее предложение о цене контракта. После определения победителя поиск второго поставщика продолжается. Начальная цена контракта при этом равна последнему предложению второго поставщика, сниженному на шаг аукциона (5% начальной цены).
- 2. На каждом шаге фиксируется последнее и предпоследнее предложение о цене контракта. После нахождения победителя аукцион считается оконченным.

Расчет объявленной цены аукциона можно представить следующим образом (начальные данные:  $Shag_0 = 0.05$ ;  $NewPrice_1 = StartPrice; k_1 1$ )

при этом

$$\begin{aligned} \textit{Price}_{i-1} &= \begin{cases} \textit{NewPrice}_{i-1}, \ \textit{åñëè} \ k_{i-1} \geq 1; \\ \textit{Price}_{i-2}, \ \textit{åñëè} \ k_{i-1} \equiv 0. \end{cases} \\ \textit{Shag}_{i-1} &= \begin{cases} 0,05, \ \textit{åñëè} \ k_{i-1} \geq 1; \\ \textit{Shag}_{i-2} - 0,005, \ \textit{åñëè} \ k_{i-1} - 0.5 \end{cases} \end{aligned}$$

где  $Price_i$  - последняя цена, с которой согласился хотя бы один участник к i -му шагу;

StartPrice - стартовая цена;

 $NewPrice_i$  - объявленная на i -том шаге цена;

 $k_i$  - число согласных участников на i -том шаге;

 $Shag_i$  - размер шага аукциона;

 $N\,$  - число шагов аукциона;

i - номер шага (i = 2..N);

*Price*2 - последнее предложение второго участника.

Окончание моделирования происходит, когда размер шага  $Shag_i$  меньше 0,5 процентов, а для первого механизма также добавлено соглашение, по которому предложение предпоследнего участника не должно быть ниже цены победителя (в конце каждого шага выполняется следующая проверка: если установлен победитель и  $NewPrice_i < Price1$ , где Price1 - предложение победителя, то аукцион считается завершенным).

Моделирование поведения участников, для каждого из которых установлена личная оценка, состоит из двух этапов. На первом этапе выявляется согласие претендентов (или несогласие) с предложенной ценой, которое определяется используемой стратегией. Были выделены следующие стратегии:

- 1. истинного предложения участники выражают согласие с предложенной ценой в том случае, если она не ниже их личной оценки;
- 2. случайного предложения в отличие от предыдущей стратегии выражение согласия осуществляется с определенной вероятностью. Событие считается случайным (моделируется с помощью алгоритма имитации простого события), т.к. независимо от значения минимальной цены поставщик может не выразить согласие на текущем шаге аукциона по разным причинам, в том числе занять выжидательную позицию (также в некоторых случаях вероятность характеризует мотивацию заключения сделки).
- 3. максимального предложения учитывает особенности рассматриваемого аукциона и заключается в выражении согласия с ценой, превышающей личную оценку участника, в следующих случаях: а)  $k_i > 0$ ; б) i = 1; в)  $Shag_i = 0.005$ ;  $k_i = 0$ . Ее смысл состоит в том, чтобы при отсутствии других претендентов дождаться момента, когда шаг будет минимален, а, следовательно, предложенная цена выше.

Кроме того, для всех стратегий были также добавлены следующие правила:

- 1. победитель не участвует при поиске предпоследнего участника;
- 2. участник не торгуется сам с собой.

На втором этапе моделирования поведения участников происходит определение очередности выражения согласия претендентами (т.е. определение первых двух претендентов, согласившихся с предложенной ценой). Считается, что вероятность события «выразить согласие первым» для всех участников одинакова и рассчитывается по формуле

$$P_i = \frac{1}{Nus}$$

где  $P_i$  - вероятность события «первым выразить согласие с предложенной ценой» для i - го участника;

Nus - число участников, согласных с предложенной ценой.

Аналогично определяется второй участник, выразивший согласие (только из общего числа участников, согласных с предложенной ценой, исключается претендент, ставший первым).

Таким образом, следуя этой модели поведения, мы предполагаем, что действия поставщиков независимы друг от друга, а их целью является продажа товара. Однако поведение участников может также быть взаимозависимым. Одним из случаев их взаимодействия является сговор, когда конкурентоспособные предложения отправляет лишь один член образовавшейся группы. Для его моделирования можно, например, личные оценки группы генерировать из одного распределения, а выбранного ими кандидата - из другого таким образом, чтобы личные оценки группы были всегда выше, чем кандидата.

На основе данной модели был разработан программный комплекс имитационного моделирования торгов с использованием подхода,

рассмотренного во второй главе. Разбиение задачи на этапы представлено на рис.3.

В работе представлена логическая и концептуальная модель архитектуры. При этом основные изменения, которые были внесены в базовую архитектуру:

- наличие классов «Аукцион» (метод «моделирование» его наследников классов «Участие», «Механизм1», «Механизм2» имитирует один шаг аукциона) и «Участник» (метод «поведение» его подклассов «СтратегияМакс», «ПростаяСтратегия» моделирует реакцию участника с конкретной стратегией на предложенную цену) (на рис.4 представлена структура классов);
- циклический вызов узлов графа решения задачи, выполняемый с помощью двух обходов: внешнего, предназначенного для реализации многократных прогонов имитационной модели (организуется с помощью «циклических» узлов, вызывающих заданное число раз себя и своих предков) и внутреннего по отношению ко второму узлу, осуществляющего имитацию шагов аукциона, число которых заранее неизвестно (рис.5 6).

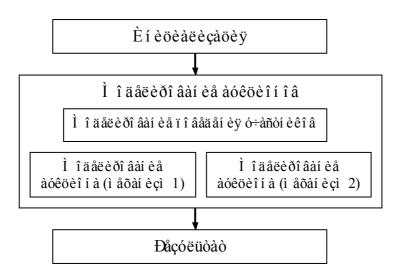


Рис. 3 – Этапы системы

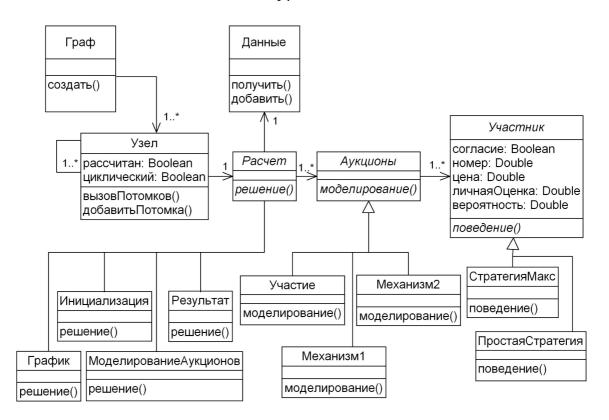


Рис. 4 – Структура классов

С помощью реализованного программного комплекса были проведены вычислительные эксперименты. Установлено, что процессы выполнения двух рассмотренных аукционов могут совпадать, и это явление наблюдается, в частности, при большом числе участников и использовании претендентами стратегии максимального предложения. В том случае, когда ход торгов различен, первый механизм, как правило, обеспечивает меньшие значения цены предпоследнего участника и эффективности сделки с ним, а второй – числа шагов.

Кроме того, оценки механизмов зависят от многих неуправляемых факторов, например поведения участников, и поэтому однозначного ответа относительно выбора одного из механизмов проведения аукциона дать невозможно.

## Рис. 5 – Имитация шагов аукциона

# Рис. 6 – Реализация многократного прогона модели

**Четвертая глава** посвящена созданию программного комплекса, позволяющего поэтапно имитировать процесс управления запасами с использованием различных стратегий и осуществлять расчет выбранного показателя эффективности.

Приведены существующие работы в области имитационного моделирования управления запасами (имитационные модели: классическая, производственная; системы D-SOL, SISCO и т.д.) в том числе используемые в учебном процессе имитационные игры (Distribution Game, The Beer Game, Supply Chain Game и т.д.). Далее, применяя подход, рассмотренный во второй главе, декомпозиции был подвергнут классический алгоритм управления запасами (рис. 7).

В главе дано описание архитектуры системы: рассмотрены основные классы, объекты и их взаимодействие. Изменения, которые были внесены в базовую архитектуру, касаются реализации обхода графа. В отличие от архитектуры, рассмотренной в предыдущей главе, здесь имитация динамики и выполнение многократных прогонов осуществляется только с помощью внешних обходов. Также различие заключается в том, что порядок пересчета узлов устанавливается пользователем.

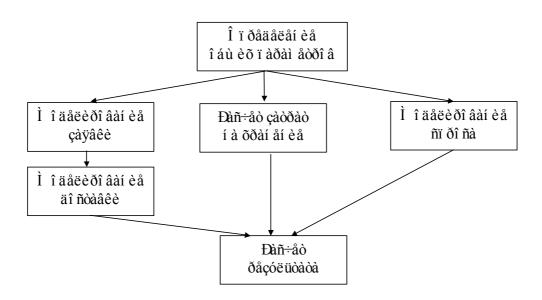


Рис. 7 – Граф решения задачи

На основе разработанной архитектуры реализовано программное обеспечение «Запас». Программа включает алгоритмы моделирования систем управления запасами, полученные путем модификации классического: с отложенным спросом, периодической и пороговой стратегией подачи заявок, ограниченным объемом склада и т.д. При этом спрос и время доставки могут иметь нормальный, показательный, равномерный или дискретный закон распределения; объем партии может также быть случайным, равен спросу за предыдущий период либо рассчитываться исходя из максимального значения уровня запаса; расчет издержек может быть выполнен в зависимости от объема товара, постоянных расходов, предоставляемых скидок. Кроме того, используемые архитектурные решения предоставляют возможности добавления новых моделей, что требует лишь модификации отдельных блоков.

В ходе проведения вычислительных экспериментов была рассмотрена классическая модель и модели, решение задач которых можно найти с использованием аналитических методов.

Наконец, **в пятой главе** приводится описание программного комплекса имитационного моделирования экономических объектов «Имитатор».

Описана архитектура (концептуальная и логическая модель) программы, включающей имитационные модели экономических объектов и предоставляющей возможности выполнения дополнительных подзадач, к числу которых можно отнести расчет статистических характеристик, оценку рисков, проведение экспериментов: имитация системы с различными значениями некоторой исходной величины для определения поведения выходного параметра.

Структура системы представляется в виде деревьев (рис.8), корнем каждого из которых является модель (остальные узлы — перечисленные подзадачи). Основное отличие от рассмотренных ранее систем заключается в том, что алгоритм имитации на этапы не разбивается. В данном случае этапы — это модели и подзадачи, которые могут быть выбраны по желанию пользователя (пунктирными линиями обозначены динамически включаемые в структуру этапы). Отличие архитектуры от базовой заключается в наличии д о п о л н и т е л ь н ы х к л а с с о в («С т а т и с т и к а» и «ГенераторСлучайных ЧиселВеличин»), ссылку на которые содержит класс «Расчет», а также «циклических» узлов, выполняющих вызов своих предков заданное количество раз (для проведения экспериментов).

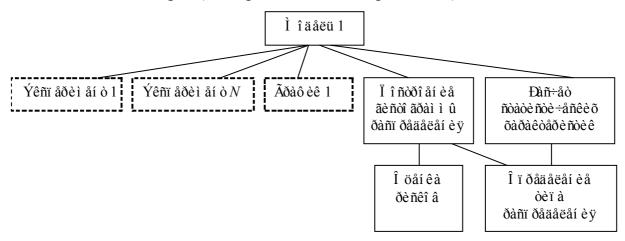


Рис. 8 – Представление задачи в виде дерева

Реализованная на основе данной архитектуры программа «Имитатор» включает как классические имитационные модели (всего 18 моделей, в том числе модель мониторинга рынка, кредитного отдела, магазина, вычислительного центра, экскурсионной фирмы, грузоперевозок и др.), так и модели, алгоритмы которых были получены на основе классических (путем их модификации либо применения для моделирования других экономических объектов). Имитационные модели предназначены для исследования экономических объектов и решения следующих задач: проверка эффективности

тех или иных организационно-экономических мероприятий, установка оптимальных значений входных параметров системы, оценка различных вариантов структуры системы.

В качестве примера работы программы приведены результаты имитации системы управления запасами.

Программные комплексы «Аукцион» и «Имитатор» были реализованы на языке программирования Java, а «Запас» - Visual Basic 6.0. Программы «Аукцион» и «Запас» поддерживают два режима работы: ручной поэтапный и классический.

В заключении приводятся основные результаты настоящей работы, которые состоят в следующем:

- 1. Предложен подход к разработке программ имитационного моделирования экономических объектов, согласно которому моделирующий алгоритм представляется в виде графа (дерева) решения задачи. Его использование обеспечивает возможность работы с реализованной программой в ручном поэтапном режиме.
- 2. Создана имитационная модель торгов, проводимых в соответствие с ФЗ №94, особенностью которых является возможность определения предпоследнего участника аукциона. Рассмотрено два механизма проведения торгов (в первом случае аукцион прекращается после нахождения победителя, а во втором продолжается) и программные участники со стратегиями истинного, случайного и максимального предложения.
- 3. Разработана архитектура программного комплекса имитационного моделирования торгов «Аукцион». Отличие от базовой архитектуры заключается в циклическом обходе графа (внешний обход предназначен для осуществления многократных прогонов, а внутренний имитации динамики) и наличии предметно-ориентированных классов, таких как «Аукцион» и «Участник». В ходе проведения вычислительных экспериментов с помощью реализованной программы были получены результаты, которые позволили оценить характеристики механизмов торгов в выбранных условиях. Программа «Аукцион» внедрена в ООО «Система Автоматизация Бизнес».
- 4. Разработана архитектура программного комплекса, позволяющего выполнять имитационное моделирование динамических систем управления запасами: ограниченным объемом склада, доставкой товара в течение определенного периода времени и т.д. При этом базовая архитектура была модифицирована: организован циклический обход графа для имитации динамики системы и осуществления многократного прогона модели; изменен механизм пересчета потомков (последовательность вызовов узлов устанавливается пользователем). На основе разработанной архитектуры реализована программа «Запас».
- 5. Разработана архитектура программного комплекса «Имитатор», включающего как классические имитационные модели экономических объектов, так и модели (мониторинга рынка, кредитного отдела, магазина,

вычислительного центра, грузоперевозок, экскурсионной фирмы, агентства недвижимости, склада и т.д.), созданные на основе известных, и позволяющего проводить эксперименты, выполнять статистическую обработку результатов моделировании, оценку рисков и др. Основное ее отличие от известной архитектуры заключается в наличии дополнительных классов («Статистика», «ГенераторСлучайныхЧиселВеличин») и «циклических» узлов, вызывающих своих предков заданное число раз и предназначенных для имитации экономического объекта с различными значениями некоторого входного параметра. Реализованная программа «Имитатор» внедрена в учебный процесс кафедры автоматизированных систем управления и Томского межвузовского центра дистанционного образования ТУСУР, а также в учебный процесс кафедры прикладной информатики Северской государственной технологической академии.

- 6. Используемые архитектурные решения предусматривают развитие и модификацию созданного программного обеспечения. Разработанные каркасы и шаблоны могут быть применены для реализации новых программных комплексов имитационного моделирования экономических объектов.
- 7. Реализованное программное обеспечение может быть использовано в учебном процессе для изучения метода имитационного моделирования, исследования экономических объектов.

Диссертант выражает благодарность научному руководителю, профессору Мицелю А. А., за руководство и поддержку, доценту Бойченко И. В. за консультации по вопросам объектно-ориентированного программирования, Каштановой О. В. за постановку задачи моделирования аукциона, ценные замечания, а также профессору Корикову А. М. и всему коллективу кафедры АСУ.

## Основные публикации по теме работы:

- 1. Грибанова Е.Б., Каштанова О.В. Использование метода имитационного моделирования для выбора методики проведения аукциона // Научная сессия ТУСУР: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Томск, 3-7 мая 2007, Томск, 2007. С. 185-188.
- 2. Грибанова Е.Б., Каштанова О.В., Мицель А.А. Система имитационного моделирования торгов, проходящих в форме аукциона // Доклады ТУСУР. 2007. №1 (15). C.63-70.
- 3. Грибанова Е.Б., Бойченко И.В. Разработка автоматизированной системы имитационного моделирования аукционов // Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития: Доклады международной научно-практической конференции. Томск, 31 октября 3 ноября 2007, Томск.: В: Спектр. 2007. С. 221-224.
- 4. Грибанова Е.Б. Имитационная модель аукциона, проводимого с целью поставки товаров, услуг для государственных и муниципальных нужд // Доклады ТУСУР. 2007. №2 (16). С.204-210.

- 5. Каштанова О.В., Грибанова Е.Б. Программа имитационного моделирования торгов, проходящих в форме аукциона «Аукцион», М., 2007. зарег. в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 17 апреля 2007, № 50200700854.
- 6. Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование систем управления запасами // Современное образование: традиции и новации: Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Томск, 2-3 февраля 2006, Томск, 2006. С.173-174.
- 7. Бойченко И.В., Грибанова Е.Б., Мицель А.А. Автоматизированная система имитационного моделирования управления запасами // Информационные системы: тр. постоянно действующего науч.-техн. семинара. 2006. Вып.4 С.118-125.
- 8. Мицель А.А., Бойченко И.В., Грибанова Е.Б. Разработка системы имитационного моделирования управления запасами на основе объектно-ориентированной технологии // Инфокоммуникационные технологии. 2006. т. 4. №3. C. 59-64.
- 9. Грибанова Е.Б., Мицель А.А. Алгоритмические имитационные модели управления материальными запасами на складе // Известия ТПУ. 2006. т. 309. №8. С. 201-207.
- 10. Бойченко И.В. Грибанова Е.Б. Автоматизированная система имитационного моделирования экономических процессов // Научная сессия ТУСУР: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Томск, 4-7 мая 2006, Томск, 2006. С.164-166.
- 11. Бойченко И.В., Грибанова Е.Б. Программная система имитационного моделирования управления запасами «Запас», М., 2006. зарег. в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 26 октября 2006, № 50200601855.
- 12. Грибанова Е.Б., Мицель А.А. Дискретно-событийное имитационное моделирование систем управления запасами // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов V Всероссийской научнопрактической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Томск, 27 февраля 1 марта 2007, Томск: Из-во ТПУ. 2007 С. 95-97.
- 13. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие: в 2-х частях. Томск.: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. 236 с.
- 14. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических объектов: Лабораторный практикум. Томск.: Изд-во НТЛ, 2005. 160 с.
- 15. Грибанова Е.Б. Система имитационного моделирования экономических объектов // Научная сессия ТУСУР: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Томск, 26-28 апреля 2005, Томск, 2005. С. 196-198.

- 16. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Компьютерное имитационное моделирование экономических объектов // Доклады ТУСУР. 2005. №3. С.49-56.
- 17. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических процессов: Методические указания по выполнению лабораторных работ и курсового проекта. Томск.: ТУСУР, 2006. 108 с.
- 18. Грибанова Е.Б. Имитационные модели экономических объектов // Актуальные проблемы экономики в творчестве студентов: Сб. статей. СПб.: СПбГИЭУ, 2006. С. 200-205.
- 19. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Программа имитационного моделирования экономических объектов «Имитатор», М., 2006. зарег. в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 26 октября 2006, № 50200601854.
- 20. Мицель А.А., Грибанова Е.Б., Ефремова Е.А. Практикум по имитационному моделированию экономических процессов. Томск.: ТУСУР, 2007. 270 с.
- 21. Грибанова Е.Б., Мицель А.А. Сборник задач по имитационному моделированию экономических процессов. Томск: ТУСУР, 2007 274 с.
- 22. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное методическое пособие. Томск.: ТМЦДО, 2007 50 с.
- 23. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное пособие. Томск.: ТМЦДО, 2007 143 с.
- 24. Грибанова Е.Б. Система имитационного моделирования экономических объектов // Студент и научно-технический прогресс: Материалы Международной научной студенческой конференции. Новосибирск, 12-14 апреля 2005, Новосибирск, 2005. С.50-54.
- 25. Грибанова Е.Б. Компьютерная система имитационного моделирования экономических объектов, разработанная на основе объектно-ориентированной технологии // Научная сессия ТУСУР: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Томск, 5-8 мая 2008, Томск, 2008. С. 56-59.
- 26. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Разработка системы имитационного моделирования экономических объектов на основе объектно-ориентированного подхода // Известия ТПУ. 2007. т. 311. №6. С. 11-15.
- 27. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Программа имитационного моделирования экономических объектов «Имитатор» // Компьютерные учебные программы и инновации.  $-2008. \mathbb{N} 25. \mathbb{C}.144-145.$
- 28. Бойченко И.В., Грибанова Е.Б. Система имитационного моделирования управления запасами «Запас» // Компьютерные учебные программы и инновации 2008. N = 5. C. 145.
- 29. Грибанова Е.Б. Разработка имитационных моделей экономических систем на основе объектно-ориентированного подхода // Современные техника и технологии: Материалы XIV Международной научно-

- практической конференции. Томск, 24-28 марта 2008, Томск, 2008. С. 276-277.
- 30. Мицель А.А., Грибанова Е.Б. Имитационная модель аукциона, проводимого с целью поставки товаров и услуг для государственных и муниципальных нужд/Труды 6 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении», 15-16 мая 2008г. Юрга. Томск: изд-во ТПУ, 2008. С. 322-327.
- 31. Грибанова Е.Б. Имитационные модели экономических объектов/ Труды 6 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении», 15-16 мая 2008г. Юрга. Томск: изд-во ТПУ, 2008. с. 248-251