



Стинин
На правах рукописи

Тихонов Степан Владимирович

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ
В СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Специальность: 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

12 ФЕВ 2009

Ростов-на-Дону – 2009

Работа выполнена на кафедре прикладной математики и программирования Южного федерального университета

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор

Угольницкий Геннадий Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, доцент

Боженюк Александр Витальевич
(ТТИ ЮФУ, г. Таганрог)

доктор технических наук, профессор
Богуславский Игорь Владимирович
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону)

Ведущая организация

Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН,
г. Москва

Защита диссертации состоится «26» февраля 2009 г. в 14 часов 20 минут на заседании диссертационного совета Д 212.208.22 при Южном федеральном университете по адресу:

347928, ГСП-17 А, Ростовская область, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ауд. Д- 406.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке Южного федерального университета по адресу: 344000, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан «23» января 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д212.208.22

доктор технических наук, профессор



А.Н. Целых

Общая характеристика работы

Актуальность темы. На сегодняшний день все больше организаций сталкиваются с необходимостью коренной перестройки, или реинжиниринга, бизнес-процессов для повышения конкурентоспособности в условиях глобализации экономики и усложнения характера хозяйственной деятельности. Очевидно, что такая перестройка требует тщательно разработанной методологической основы и применения формальных методов для ее разработки с целью уменьшения негативных последствий неверных управленческих решений.

Само понятие "Реинжиниринг бизнес-процессов" впервые было введено М. Хаммером в 1990 году в статье "Reengineering Work: Don't automate, obliterate". В ней отмечалось, что работы, не увеличивающие добавленную стоимость, не следует пытаться автоматизировать, от них следует избавляться. Необходим пересмотр бизнес-процессов с целью максимизации полезности для потребителя при минимизации потребления ресурсов. Аналогичную идею выдвинул в том же году и Т. Дэвенпорт.

В течение нескольких последующих лет число публикаций, посвященных теме реинжиниринга бизнес-процессов, быстро увеличивалось, многие консалтинговые компании разрабатывали свои методы. Однако после появления критики в его адрес в начале 1995 г. вкуче с участвовавшими случаями провалов проектов по реинжинирингу бизнес-процессов, общий ажиотаж в этой области несколько спал. Стало очевидным, что радикальная перестройка процессов требует определенной методологической основы и тщательного анализа, а, следовательно, и разработки адекватных моделей и инструментов, способных предсказать последствия предлагаемых изменений.

В этот период стала бурно развиваться область моделирования бизнес-процессов с целью создания инструментов по выработке оптимальной стратегии реинжиниринга, что продолжается и по сей день.

Наиболее важным инструментом становятся различного рода компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений. Использование методов математического, в том числе и имитационного моделирования и принятие на их основе обоснованных решений по управлению организацией является конкурентным преимуществом и позволяет снизить риск неудачи при перестройке бизнес-процессов.

Обычно исследователи в этой области фокусируются на определенных сторонах бизнес-процессов, предлагая методы и модели, специфичные для конкретной отрасли. На рынке существует и ряд универсальных инструментальных сред, которые обладают широкими возможностями, но вместе с тем характеризуются чрезмерной сложностью, достаточно высокой ценой, а также значительными затратами на внедрение.

Перспективным направлением в этой области является дискретно-событийное моделирование бизнес-процессов, учитывающее актуальные на сегодняшний

день аспекты: достаточный уровень формализма, учет временных факторов, синхронизации процессов, адекватность моделей для анализа и оптимизации и пр. В. Хлупич в своих работах (1998) и (2005) определила общую концепцию дискретно-событийного моделирования бизнес-процессов, основные направления работы в этой сфере, задачи, стоящие перед исследователем и проблемы, с которыми ему приходится сталкиваться. Основным методом исследования здесь на сегодняшний день являются сети Петри, чему посвящено уже немало работ. Однако данный метод обладает некоторыми недостатками, основными из которых являются сложность структуры моделей реальных процессов, значительные их размеры и, как следствие, недостаточная наглядность и прозрачность. Кроме того, необходимость разработки подобной модели «с нуля» вынуждает исследователя производить весьма тщательный анализ существующей структуры процессов в свете именно этой методологии, что не всегда возможно по причине ограниченных временных ресурсов. Выходом из этой ситуации представляется использование уже существующих разработок и моделей и по возможности переход от уже имеющихся простых моделей к более сложным дискретно-событийным, что позволит сэкономить как время, так и финансовые ресурсы, выделяемые на реинжиниринг.

Исторически одним из первых и наиболее распространенных методов моделирования бизнес-процессов является функциональное описание средствами IDEF0. Однако этот метод обладает рядом существенных недостатков, делающих невозможными глубокий анализ и оптимизацию бизнес-процессов, поэтому на сегодняшний день стоит задача разработки и использования более мощных, но в то же время относительно простых в использовании инструментов, позволяющих исследовать бизнес-процессы организации.

Этот факт вызвал появление работ, направленных на разработку методов перехода от моделей IDEF0 к более совершенным моделям. Перспективным является переход от IDEF0 к моделям систем массового обслуживания, которые проще по структуре, чем сети Петри, более наглядны и, несмотря на сложность их аналитического исследования, относительно просто моделируются в имитационном режиме.

Вариант дискретно-событийной интерпретации диаграмм IDEF0, изначально для этого не предназначенных, предложен в статье С. Рубцова «Опыт использования стандарта IDEF0». Однако для построения модели в терминах теории систем массового обслуживания эта интерпретация плохо подходит, поскольку делает модель слишком абстрактной и трудно формализуемой. Встретить примеры готовых разработок по преобразованию IDEF0-моделей процессов в модели СМО, либо по созданию универсальной методологии моделирования бизнес-процессов как систем массового обслуживания безотносительно предметной области, не удалось.

Все это определяет актуальность темы разработки методологии, которая позволила бы с наименьшими затратами получить адекватную модель бизнес-

процессов и в то же время была бы простой в использовании и не требовала значительных инвестиций на этапе внедрения, а также инструментальных средств, позволяющих использовать эту модель в своих целях исследователями с различной квалификацией.

Целью работы является разработка методологии построения адекватных моделей бизнес-процессов, сформулированных в терминах теории систем массового обслуживания, на основе имеющихся описаний, выполненных в соответствии с методологией IDEF0, а также реализация ее в виде проблемно-ориентированной системы имитационного моделирования. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Разработка методики перехода от функционального описания бизнес-процессов средствами IDEF0 к дискретно-событийной модели с использованием теории систем массового обслуживания;
- Разработка методики учета в модели управляющих воздействий и показателей качества осуществления процессов;
- Построение модели системы основных бизнес-процессов конкретной организации на основе предложенных методов;
- Формализация и идентификация построенной модели;
- Построение на основе предложенных методов системы имитационного моделирования, которая упрощает процесс моделирования и улучшает качество вырабатываемых в его процессе рекомендаций;
- Проведение вычислительных экспериментов с имитационной моделью в рамках решения конкретной задачи выработки управляющих воздействий и практических рекомендаций, направленных на увеличение производительности исследуемой системы.

Основным методом исследования является математическое, и, в частности, имитационное моделирование, базирующееся на использовании аппарата системного анализа, математической статистики, теории систем массового обслуживания и планирования эксперимента.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Методика перехода от функционального описания бизнес-процессов средствами IDEF0 к дискретно-событийной модели, позволяющая строить ее на основе от функционального описания бизнес-процессов безотносительно содержания последних;
2. Методика учета в модели управляющих воздействий и показателей качества осуществления процессов;
3. Имитационная модель основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации, построенная на основе предлагаемых методов, пригодная для выработки управленческих решений;
4. Программный комплекс, реализующий предложенные методы в виде проблемно-ориентированной системы имитационного моделирования,

автоматизирующей основные операции по построению и использованию имитационной модели.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика перехода от функционального описания бизнес-процессов средствами IDEF0 к дискретно-событийной модели с использованием теории систем массового обслуживания;
2. Методика учета в модели управляющих воздействий, в рамках которой вводятся непрерывные показатели степени занятости устройств обслуживания, векторы их характеристик и бесконечное множество типов заявок на обслуживание, отличающихся друг от друга значениями компонент вектора характеристик;
3. Учет в модели показателей качества осуществления процессов, не связанных с рассчитываемыми традиционно статистическими показателями работы системы массового обслуживания;
4. Программный комплекс, представляющий собой систему имитационного моделирования для построения моделей по предложенным методам и их исследования;
5. Имитационная модель системы основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации, разработанная на основе предлагаемых процедур.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в использовании разработанной методики для построения имитационной модели бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации и применения предложенной системы имитационного моделирования в процессе реинжиниринга бизнес-процессов ООО «РДД» для оценки структурных изменений, а также тактических управляющих воздействий и выявления направлений совершенствования процесса функционирования организации.

Апробация работы. Основные результаты и положения работы обсуждались: на V конференции «Школа – семинар молодых ученых «Управление большими системами», (Липецк, 2008); на II конференции «Школа – семинар молодых ученых «Управление большими системами», (Воронеж, 2007); на III Всероссийской молодежной конференции по проблемам управления (ВМКПУ'2008); на III Межрегиональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь XXI века – будущее Российской науки» (РГУ, 2005); на студенческой научной конференции «Неделя науки» (РГУ, 2005); на студенческой научной конференции «Неделя науки» (РГУ, 2004); на семинарах кафедры прикладной математики и программирования Южного Федерального университета в 2004-2008 гг.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, изложенных на 155 страницах машинописного текста, а также приложения объемом 14 страниц. Библиографический список

включает 107 наименований использованной отечественной и зарубежной литературы.

Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, охарактеризованы используемые методы, дан краткий исторический обзор проблематики, сформулированы положения, выносимые на защиту, описана структура работы и краткое содержание ее разделов.

В **первой главе** рассмотрены теоретические аспекты моделирования бизнес-процессов: дается их определение, рассматриваются основные методы моделирования, а также кратко описываются основные положения стандарта IDEF0.

Первый раздел посвящен рассмотрению основных определений бизнес-процессов, целей и задач их моделирования с точки зрения управления организацией.

Рассмотрены два основных определения бизнес-процессов. Первое из них, предложенное Хаммером и Чеппи, утверждает, что «бизнес-процесс – это набор действий, имеющий один или несколько типов входов и создающий выход, имеющий ценность для заказчика». Второе было предложено Т. Дэйвенпортом в 1993 г. Согласно ему, «бизнес-процесс - это заданная последовательность действий, конечная цель которой – производство определенного выхода для конкретного заказчика или рынка». Рассматриваются еще шесть трактовок бизнес-процессов, предлагаемых различными авторами, и на их основании выделены некоторые общие для всех определений элементы, относящиеся к самому процессу (обычно описываемому как преобразование некоторого входа, набор действий, технология), его входу и его выходу (обычно относящемуся к достижению определенной цели или продукта для клиента). В дальнейшем именно такая трактовка используется в качестве основы для построения модели.

Рассмотрены следующие цели и задачи моделирования бизнес-процессов, охватываемые емким понятием «анализ процессов», который составляет основу их реинжиниринга:

- 1) Описание процессов для их изучения. Модель процессов должна представлять структуру и бизнес-процессы организации в унифицированном виде.
- 2) Поддержка принятия решений при разработке и конструировании процессов. Модель бизнес-процессов является основным источником информации для их анализа, валидации и верификации. Она также является средством фиксации вносимых изменений, прежде чем они найдут отражение в системе нормативной документации.
- 3) Поддержка принятия решений при осуществлении бизнес-процессов: с помощью различных моделей осуществляется выработка и анализ управленческих решений операционного и тактического характера.

4) Поддержка внедрения информационных технологий. На основании модели бизнес-процессов осуществляется разработка систем автоматизации отдельных сторон деятельности предприятия, структуры взаимодействия программного обеспечения, моделей баз данных и средств сбора и аналитической обработки информации.

В первом разделе показано, что существует множество точек зрения на природу и сущность бизнес-процессов, определяемых, прежде всего, целями, которые ставит исследователь при их моделировании и анализе. Это обусловило широкое разнообразие методов моделирования и анализа бизнес-процессов.

Во втором разделе рассмотрены основные методы моделирования бизнес-процессов, приведена их классификация и примеры некоторых работ в этой области.

В частности, рассматриваются три основных типа методов: диаграммные модели, математические модели и т.н. языки моделирования бизнес-процессов. Первый тип включает модели, которые иллюстрируют процессы с использованием графических диаграмм. Второй тип соответствует моделям, имеющим математическое или иное формальное основание. Наконец, третий тип (т.е. языки бизнес-процессов) содержит искусственные языки, поддерживающие моделирование бизнес-процессов и почти всегда – выполнение последних. Табл. 1 иллюстрирует классификацию и приводит список источников по каждой из ключевых технологий.

Таблица 1. Классификация методов моделирования бизнес-процессов

Методы моделирования	Тип моделей	Основные работы
Диаграммы	Диаграммные модели	Кнут, 1963 Чепен Н., 1971
IDEF	Диаграммные модели	Мейер и др., 1994 Мензел и Мейер, 1998 Питерс, 1997 Закариан, 2001 Бадика и др., 2003 Шимизу и Сахара, 2000 Чоу и Чен, 2002
Диаграммы ролевой активности (RAD)	Диаграммные модели	Олд, 1995 Фальп и Шепперд, 2000 Бадика и др., 2003
Унифицированный язык моделирования (UML)	Диаграммные модели Языки моделирования бизнес-процессов	Катрани, 2001 Воед и др., 2004
Сети Петри	Диаграммные модели Формальные математические модели	Ван дер Аалст, 1998 Ли и др., 2004 Донателли и др., 1995 Рапосо и др., 2000 Питерс, 1997

Модели бизнес-процессов, основанные на математических и алгоритмических моделях	Математические и иные формальные модели	Хофакер и Ветшера, 2001 Пауэлл и др., 2001 Валирис и Гликас, 1999
BPEL BPMN	Языки моделирования бизнес-процессов	Хэйви, 2005 Григори и др., 2004
jPDL (JBPM)	Диаграммные модели Языка моделирования бизнес-процессов	Кёниг, 2004

Вторая часть иллюстрирует приведенную систему конкретными примерами работ, в которых описанные выше методы используются для моделирования бизнес-процессов.

Описание стандарта функционального моделирования IDEF0 (ICAM Definition), принадлежащей к группе графических методов и исторически получившей наибольшее распространение в России, дается в третьем разделе, в котором сделан общий обзор методологии IDEF0 на основе рекомендаций, принятых и введенных в действие Госстандартом России 2 июля 2001 г. (ГОСТ Р 50.1.028-2001).

Здесь же рассматриваются основные концептуальные принципы IDEF0, составляющие вкпе с рассмотренными понятиям единую методологию. В этом разделе также рассмотрены присущие методологии IDEF0 достоинства и недостатки. К числу первых следует отнести: невысокую стоимость разработки моделей; возможность построения модели, которая позволила бы в дальнейшем быстро и эффективно скорректировать систему в соответствии с новыми условиями и требованиями; наглядность визуального представления; возможность получения полной информации о каждой работе, процедуре, операции благодаря жестко регламентированной структуре; возможность агрегирования и детализации потоков данных и информации; соответствие подхода к описанию процессов стандартам ISO 9000:2000.

Благодаря указанным факторам IDEF0 по-прежнему является одной из наиболее приемлемых методологий моделирования бизнес-процессов в России.

Кроме своих преимуществ, методология IDEF0 обладает и рядом недостатков: являясь методологией функционального моделирования, IDEF0, вообще говоря, не предназначена для моделирования процессов; с ее помощью невозможно отразить работу процесса в динамике или работы, идущие параллельно друг другу; наличие всего лишь функционального и информационного типов моделей, остальные аспекты архитектуры если и могут быть отображены, то на недостаточном уровне; недостаточный уровень формализма и отсутствие возможности применения математических методов анализа моделей; наличие логико-лингвистических противоречий и неточностей в определении стандарта обуславливает необходимость создания различного рода интерпретаций и уточнений, специфичных для исследуемой области.

На основании проведенного анализа делается вывод о привлекательности методологии IDEF0 на начальных стадиях реинжиниринга бизнес-процессов, с одной стороны, а с другой – о необходимости перехода к более сложным и мощным средствам в дальнейшем. Это подтверждает актуальность исследований в области разработки интегрированных систем моделирования, способных осуществлять переход от разработанных на начальных этапах реинжиниринга относительно простых моделей к более сложным, использующим в качестве описательного средства математический аппарат.

Во второй главе рассматривается методика построения дискретно-событийной модели системы бизнес-процессов произвольной организации на основе их описания средствами методологии функционального моделирования IDEF0.

В первом разделе рассмотрены основные этапы перехода от IDEF0 к дискретно-событийной модели и приведена их краткая характеристика.

На первом этапе требуется избавиться от логико-лингвистических противоречий и неточностей, допускающих двусмысленность в интерпретации определений основных структурных элементов исходной модели

На втором этапе необходимо проанализировать метамодели обеих методик и выработать систему правил, согласно которым структурным элементам одной модели будут сопоставляться элементы другой.

На третьем этапе в соответствии с выбранными правилами осуществляется построение дискретно-событийной модели. Очевидно, что поскольку полученная модель должна быть более сложной, чем исходная, части информации будет недоставать, поэтому необходима выработка правил и методов получения этой недостающей информации.

Для придания создаваемой модели большей функциональности и практической ценности на четвертом этапе необходимо внести дополнительные элементы, которые позволили бы учесть качество осуществления бизнес-процессов и управляющие воздействия на систему извне.

Далее в этой главе эти этап рассматриваются подробнее.

Во втором разделе описывается построение модели бизнес-процессов, описываемой в терминах теории СМО. Предложена методика перехода от функционального описания системы, обеспечиваемого IDEF0, к дискретно-событийному, лежащему в основе аппарата СМО, а также описаны правила перехода от абстракций стандарта IDEF0 к основным понятиям, используемым при описании системы как СМО, с целью построения адекватной имитационной модели бизнес-процессов и учета в ней системы показателей качества.

Структура такой системы формализована в виде ориентированного графа: $G = \langle M, U, f \rangle$ - оргграф, определяющий структуру сети СМО; $M \neq \emptyset$ - множество вершин графа, т.е. множество узлов сети СМО; $U \neq \emptyset$ - множество дуг графа, т.е. множество потоков, связывающих узлы сети; $f: U \rightarrow M \times M$ - отношение инцидентности, задающее структуру связей между узлами и дугами; $M = \underline{M} \cup \overline{M}$,

$\underline{M} \cap \overline{M} = \emptyset$, где $\underline{M}$ - множество истинных вершин графа, соответствующих узлам рассматриваемой сети СМО; $\overline{M}$ - множество фиктивных вершин, которые вводятся для обозначения источников и приемников внешних потоков.

$\overline{M} = \overline{M}' \cup \overline{M}'' \cup \overline{M}'''$, где $\overline{M}''$ - множество фиктивных вершин, соответствующих узлам, являющимся приемниками исходящих потоков системы, т.е., $\overline{M}'' = \{x \in M \mid f^{-1}(\{x\} \times (M \setminus \{x\})) = \emptyset\}$. $\underline{M}'''$ - множество истинных вершин, соответствующих узлам, являющимся источниками исходящих потоков системы,

т.е. $\underline{M}''' = \{x \in M \mid \exists y \in \overline{M}''' : f^{-1}(x, y) \neq \emptyset\}$. $\overline{M}'$ - множество фиктивных вершин,

соответствующих узлам, являющимся источниками внешних управлений, $\overline{M}'$ - множество фиктивных вершин, соответствующих узлам, являющимся источниками внешних входов, так что $\overline{M}' \cup \overline{M}'' = \{x \in M \mid f^{-1}((M \setminus \{x\}) \times \{x\}) = \emptyset\}$.

$\underline{M}'''$ - множество истинных вершин, соответствующих узлам, являющимся приемниками внешних управлений; $\underline{M}'$ - множество истинных вершин, соответствующих узлам, являющимся приемниками внешних входов, так что $\underline{M}' \cup \underline{M}''' = \{x \in M \mid \exists y \in (\overline{M}' \cup \overline{M}'') : f^{-1}(y, x) \neq \emptyset\}$.

$U = \underline{U} \cup \overline{U}$, где $\underline{U}$ - множество дуг, соответствующих внутренним потокам сети; $\overline{U}$ - множество дуг, соответствующих внешним потокам, т.е. входам, управлениям и выходам. Тогда $\underline{U} = \{u \in U \mid ((p_1 \circ f)(u) \notin \overline{M}) \wedge ((p_2 \circ f)(u) \notin \overline{M}')\}$; $\overline{U} = U \setminus \underline{U}$. $\overline{U}'' = \{u \in \overline{U} \mid ((p_2 \circ f)(u) \in \overline{M}''')\}$ - множество дуг, соответствующих внешним выходам сети; $\overline{U}' = \{u \in \overline{U} \mid ((p_1 \circ f)(u) \in \overline{M}')\}$ -

множество дуг, соответствующих внешним управлениям сети; $\overline{U}' = \{u \in \overline{U} \mid ((p_1 \circ f)(u) \in \overline{M}')\}$ - множество дуг, соответствующих внешним входам сети. Здесь $p_1 : M \times M \rightarrow M$; $p_2 : M \times M \rightarrow M$ так, что $\forall (x, y) \in M \times M \quad p_1((x, y)) = x$; $p_2((x, y)) = y$.

Следует заметить, что каждому входящему потоку может соответствовать не один, а несколько исходящих потоков, как, впрочем, и наоборот. Аналогичные рассуждения применимы и к потокам управляющих воздействий.

Матрица $A_{(N+L) \times K}$ с элементами

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists \eta : [1; n]_N \rightarrow U \mid (p_2 \circ f \circ \eta)(k-1) = (p_1 \circ f \circ \eta)(k), k = 2, \dots, n \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

задает соответствие входов и выходов рассматриваемой подсистемы. Здесь $N = |\underline{M}'|$, $L = |\underline{M}'''|$, $K = |\overline{M}'|$.

$\Phi = \Phi' \cup \Phi'' \cup \Phi'''$ - множество всех потоков системы; $\Phi' = \{z_{in}, i \geq 1\}_{i=1}^{\bar{N}}$ - входящие потоки требований всех узлов сети; $\Phi'' = \{u_{ik}, i \geq 1\}_{k=1}^{\bar{K}}$ - исходящие потоки требований всех узлов сети; $\Phi''' = \{w_{il}, i \geq 1\}_{l=1}^{\bar{L}}$ - потоки событий поступления управляющих воздействий на все узлы сети;

Величины z_{in} , u_{ik} , w_{il} - имеют смысл интервалов времени между двумя последовательными $(i-1)$ -м и i -м событиями, имеющие функции распределения F_{z_n} , F_{u_k} и F_{w_l} соответственно.

Соответствие потоков дугам задается отображением $g: U \rightarrow (\Phi' \cup \Phi'') \times \Phi'''$.

Если узел связан одним потоком только с одним узлом (рис.1)

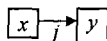


Рис. 1. Связь узлов без разветвления потоков

то $g(j) = (\{z_{in(y,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,1)}, i \geq 1\})$, где $n: M \times N \rightarrow N$ - отображение, ставящее в соответствие вершине графа и номеру его дуги номер потока.

Если исходящий поток разделяется (рис. 2-а), то рассматриваются две дуги (рис. 2-б), так что $g(j_1) = (\{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,1)}, i \geq 1\})$,

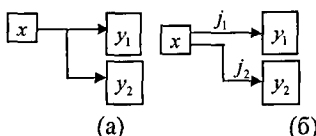


Рис. 2. Связь узлов с разделением потоков

$$g(j_2) = (\{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\}),$$

где $\{u_{in(x,1)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\}$, если разделение потоков производится по правилу «И» («AND-split»), и $\{u_{in(x,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y_1,1)}, i \geq 1\} \neq \{z_{in(y_2,1)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x,2)}, i \geq 1\}$ - в противном случае.

В обратной ситуации, т.е. при слиянии потоков (рис. 3-а) рассматривается конструкция, изображенная на рис. 3-б, и $g(j_1) = (\{z_{in(y,1)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x_1,1)}, i \geq 1\})$,

$$g(j_2) = (\{z_{in(y,2)}, i \geq 1\}, \{u_{in(x_2,1)}, i \geq 1\}),$$

причем

$$\{u_{in(x_1,1)}, i \geq 1\} = \{z_{in(y,1)}, i \geq 1\} \neq \{z_{in(y,2)}, i \geq 1\} = \{u_{in(x_2,1)}, i \geq 1\}.$$

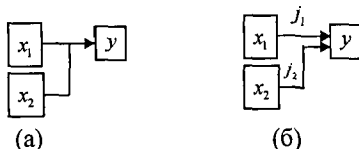


Рис. 3. Связь узлов со слиянием потоков

$\Xi = \{\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_S\}$ - множество устройств обслуживания, S - число устройств.

Каждое устройство имеет число каналов $c_i, i=1,2,\dots,S$, равное числу процессов, механизмом выполнения которых оно является.

Соответствие устройств обслуживания узлам сети зададим на графе отображением $h: M \rightarrow \Xi$.

Устройства имеют очереди длиной $q_{ij}, i=1,2,\dots,Q_j, j=1,2,\dots,S$, число которых $Q_j = |h^{-1}(\zeta_j)| \cdot \left| \left\{ u \in U : \forall x \in h^{-1}(\zeta_j) (p_2 \circ f)(u) = x \right\} \right|$.

Дисциплины очередей могут быть произвольными, в рамках данной работы рассматривается множество дисциплин $D = \{ "FIFO", "LIFO", "С приоритетами" \}$.

Время обслуживания заявок определяется соотношением

$$t'_j = t'_p = \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \{ t'_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s \} + \tau_p =$$

$$= \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \left\{ \max_{\substack{n_1 \in R_r \\ s_1 \in S_r}} \{ t'_{n_1} + \hat{t}_{n_1}, t_{s_1} + \hat{t}_{s_1} \} + \tau_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s \right\} + \tau_p = \dots =$$

$$= \max_{\substack{r \in R_p \\ s \in S_p}} \left\{ \max_{\substack{n_1 \in R_r \\ s_1 \in S_r}} \left\{ \dots \max_{\substack{r_{p-1} \in R_{r_{p-1}} \\ s_{p-1} \in S_{r_{p-1}}}} \{ t'_{r_{p-1}} + \hat{t}_{r_{p-1}}, t_{s_{p-1}} + \hat{t}_{s_{p-1}} \} + \tau_{r_{p-2}} + \hat{t}_{r_{p-2}}, \dots + \hat{t}_{r_1}, t_{s_1} + \hat{t}_{s_1} \right\} + \tau_r + \hat{t}_r, t_s + \hat{t}_s \right\} + \tau_p$$

где t'_p - момент генерации исходящей заявки p -го дочернего процесса, входящего в цепочку, связывающую i -й вход родительского процесса и его j -й выход; τ_p - время генерации выхода вышеуказанного дочернего процесса в ответ на поступившие на входы заявки; t_s - момент поступления входящей заявки s -го потока; $\hat{t}_s$ - время ожидания заявки s -го потока в очереди по причине занятости устройства; R_p - множество входящих потоков p -го дочернего процесса, являющихся исходящими потоками других дочерних процессов; S_p - множество входящих потоков p -го дочернего процесса, являющихся внешними по отношению к родительскому процессу, получаем выражение для момента t'_j генерации выхода j родительского процесса в ответ на его вход i .

Генерация выхода дочернего процесса начинается только после поступления заявок на все входы, связанные с ним. Это позволяет не детализировать модель при рассмотрении процесса уровня s ниже уровня $s-1$, рассмотрев вместо этого величины τ_s дочерних процессов уровня $s-1$.

Таким образом, получена сеть СМО с неординарными (поскольку заявки могут поступать и группами), вообще говоря, произвольными входящими потоками. Обслуживание поступивших в блок требований осуществляется общими устройствами, допускающими очередь неограниченной длины. Поток обслуживаний в общем случае также является произвольным, поскольку величины t_s и τ_p случайны.

С практической точки зрения построенная модель бизнес-процессов как СМО может быть полезна на этапе проектирования, позволяя оптимальным образом

увязать во времени выполнение работ и процессов. В диссертации предлагается расширить СМО за счет введения дополнительных элементов: вектора характеристик поступающих на устройства обслуживания заявок и вектора состояния обслуживающих устройств для решения задачи оценки возможных последствий операционных или тактических управляющих воздействий.

Этому посвящен третий раздел, в котором в полученную модель вносятся дополнительные элементы с целью учета управляющих воздействий и качества осуществления процессов.

В работе предлагается рассмотрение классов заявок, вообще говоря, с бесконечным множеством представителей, различающихся между собой значениями вектора характеристик. В качестве элементов этого вектора предлагается рассматривать те характеристики заявок, которые влияют на время их обслуживания либо на характеристический вектор обслуживающих их устройств. Это позволяет учесть не только временные характеристики функционирования системы, но и качество осуществления процессов.

Введем обозначение

$$p_v = (p_{v1}, \dots, p_{vL_v}),$$

где $v \in \tilde{T}$ - тип заявки; $\tilde{T}$ - множество выделенных типов заявок; p_{vj} - значение j -й компоненты вектора характеристик p_v заявки v .

В качестве компонент характеристического вектора обслуживающих устройств рассматриваются, в первую очередь, величины, определяющие степень занятости устройства, поскольку для построения модели, пригодной для адекватного предсказания функционирования организационной системы, зачастую недостаточно двух состояний («занято»/«свободно»).

Пусть

$$l_i = \sum_{j \in T' \setminus \tilde{T}} f^{j l_i}(n_j) \in [0; 1]$$

- величина, характеризующая степень загруженности i -го устройства. Здесь n_j - число заявок типа j , которые находятся на обслуживании данного устройства; T' - множество типов заявок, которые может обслуживать данное устройство; $\tilde{T}$ - множество всех типов заявок; $f^{j l_i}$ - функция, характеризующая загруженность устройства совокупностью заявок типа j , число которых n_j .

При $l_i = 0$ устройство i полностью свободно; при $l_i = 1$ - полностью занято. Новая заявка типа j_0 принимается к обслуживанию, если

$$\sum_{j \in T' \setminus \{j_0\}} f^{j l_i}(n_j) + f^{j_0 l_i}(n_{j_0} + 1) \leq 1.$$

Кроме этого, в качестве компонент характеристического вектора рассматриваются управленческие воздействия на подсистемы, например, ресурсные, временные ограничения, либо же ограничения, определяющие дисциплину обслуживания. Обозначим эту группу характеристик

$$u = (u_1, \dots, u_{N_i}),$$

где u_j - значения отдельных характеристик, входящих в группу; N_i - размерность вектора u для i -го устройства.

В качестве третьей группы компонент рассматриваются показатели процесса $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_{M_k})$, которые позволяют оценивать функционирование системы с точки зрения системы менеджмента качества.

Таким образом, каждое обслуживающее устройство характеризуется вектором $x'_i = (l'_i, u'_i, \rho'_i)$ размерности $N_i + M_i + 1$.

Приведенные рассуждения иллюстрируются на примере упрощенной модели бизнес-процесса «Реализовать объект недвижимости», входящего в группу основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации. В рамках примера выделено 7 входов, 6 выходов, 1 управление и 1 механизм. Граф модели в этом случае имеет вид, изображенный на рис. 4.

Построенная таким способом модель является с точки зрения родительского процесса многоканальной СМО со сложным нерекуррентным входящим и исходящим потоками, а с точки зрения дочерних процессов – сетью одноканальных СМО с неограниченной очередью и бесконечным множеством состояний обслуживающих устройств. Она позволяет оценивать влияние управляющих воздействий на систему путем отслеживания как функциональных характеристик СМО, так и непосредственно показателей, связанных с обслуживающими устройствами.

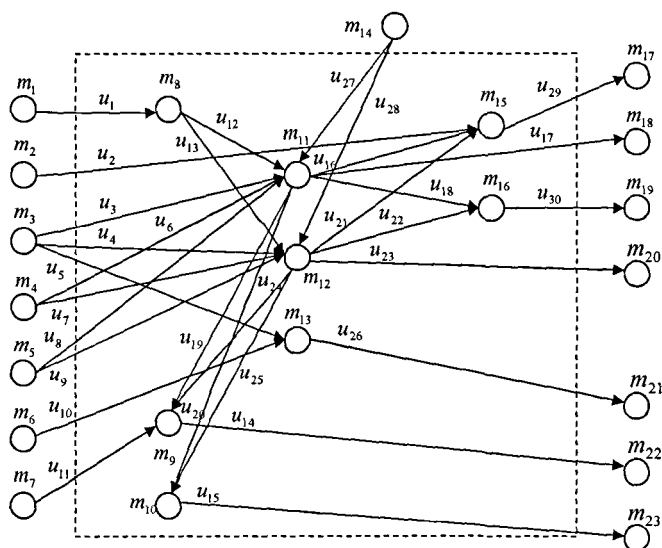


Рис. 4. Граф модели процесса «Реализовать объект недвижимости».

Предложенная методика построения дискретно-событийной модели бизнес-процессов с использованием аппарата СМО на основе IDEF0 является достаточно универсальной и может применяться для моделирования бизнес-процессов любой организации. В рамках данной работы описанная методика применяется для

имитационного моделирования основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации, целью которого является разработка инструмента, служащего основой для выработки и оценки управленческих решений.

В третьей главе рассматривается система имитационного моделирования, предназначенная для моделирования бизнес-процессов организации на основе их функционального описания.

В первом разделе рассматриваются различные точки зрения на понятие системы имитационного моделирования.

В рамках данной работы система имитационного моделирования рассматривается, прежде всего, как внешняя «настройка» над имитационной моделью, которая обеспечивает ее удобное и эффективное использование.

Во втором разделе описывается структура предлагаемой системы имитационного моделирования, ее возможности и ограничения.

Система реализована по клиент-серверной технологии с «тонким» клиентом. Такая архитектура позволяет перенести все вычислительные операции на отдельный сервер и избежать необходимости устанавливать на рабочее место исследователя мощное и дорогостоящее оборудование.

Логически предлагаемую систему можно разделить на три основных узла: клиентский терминал, серверный модуль и СУБД с базой данных (см. рис. 5):

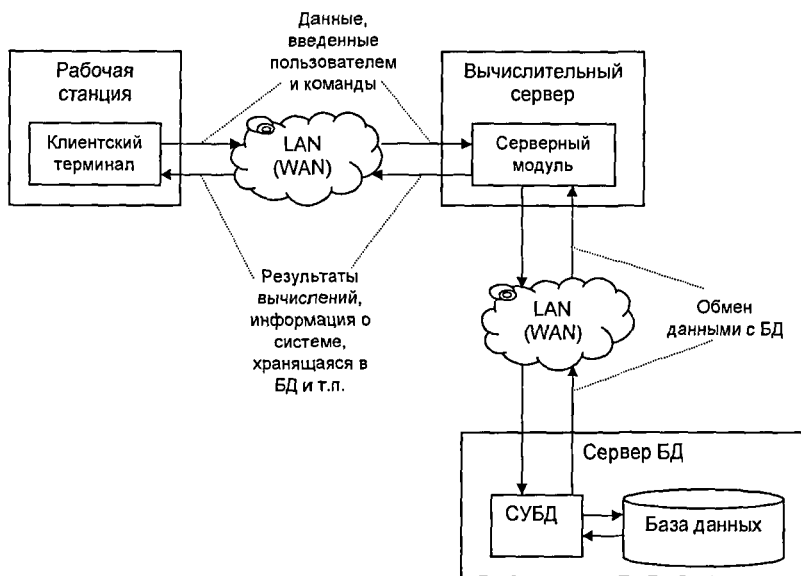


Рис. 5. Логическая организация системы имитационного моделирования по технологии «клиент-сервер»

Клиентский терминал устанавливается на любую рабочую станцию и, по сути, является реализацией графического интерфейса пользователя. Через клиентский терминал пользователь системы вводит данные, осуществляет построение модели и управляет организацией вычислительных экспериментов. С помощью клиентского терминала осуществляется и вывод результатов вычислительных экспериментов.

Все вычисления и операции по преобразованию данных осуществляются внутри серверного модуля, который может быть физически расположен на другом, более мощном компьютере.

Структура системы и ее основные блоки показаны на рис. 6:

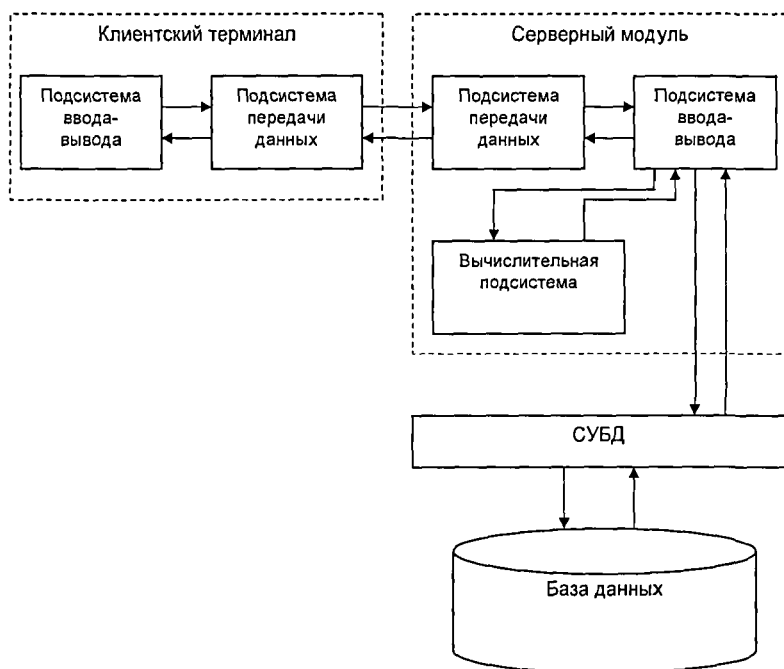


Рис. 6. Структура системы имитационного моделирования

Основные функции клиентского терминала системы имитационного моделирования:

1. Ввод данных (ввод и импорт диаграмм в различных режимах, задание функциональных зависимостей между компонентами модели и их числовых параметров, составление планов экспериментов, редактирование траекторий системы);
2. Вывод данных (отображение информации о структуре модели и функциональных зависимостях между ее компонентами, анимация хода

вычислительных экспериментов и вывод результатов, экспорт информации о структуре модели и результатов экспериментов во внешние файлы);

3. Управление данными и вычислительным процессом (передача команд, управляющих вычислительным процессом, серверному модулю, управление проведением имитационных и оптимизационных экспериментов, управление сохранением и восстановлением данных, преобразование данных для их передачи между подсистемами).

Серверный модуль занимает центральное место в системе имитационного моделирования. Именно он отвечает за передачу информации от клиентского терминала к базе данных и обратно, за проведение вычислительных экспериментов, операции по обработке результатов и организацию их хранения. Структурно он состоит из подсистемы передачи данных, отвечающей за связь с клиентским терминалом, подсистемы ввода-вывода и вычислительной подсистемы. Подсистема ввода-вывода серверного модуля отличается по функциям от принадлежащей клиентскому терминалу и включает в себя средства взаимодействия с СУБД.

Основными функциями серверного модуля являются:

1. Выполнение вычислительных экспериментов (организация вычислений планировщиком экспериментов – на основе стандартных и определяемых пользователем планов, выполнение имитационных прогонов, обработка результатов вычислений, организация оптимизационных вычислений, включая автоматическое составление сценариев для планировщика);
2. Сбор, обработка и хранение данных (преобразование данных, обмен данными с базой путем взаимодействия с клиентской частью СУБД, передача данных клиентскому терминалу, вычисление статистических показателей о работе СМО, первичная обработка результатов имитационных экспериментов).

В качестве СУБД для организации хранения данных была выбрана Oracle Database 10g.

Третий раздел посвящен описанию программной реализации. Программа была написана на языке C++ в среде MS Visual C++ 7.0 с использованием библиотеки Microsoft Foundation Classes (MFC). Основное ядро программы (серверная и клиентская части) включает в себя 108 объектов, включая ряд технических, 412 функций и около 16000 строк кода.

Построенный программный комплекс моделирования бизнес-процессов призван облегчить работу исследователя, предоставляя ему набор инструментальных средств для автоматизации задач по построению моделей, их модификации и систематизации. В распоряжение пользователя предоставляются инструменты для простого и удобного ввода данных о структуре модели на основе имеющихся диаграмм IDEF0, организации вычислительных экспериментов, их проведению, а также обработке и анализу результатов. Клиент-серверная архитектура позволяет работать над несколькими проектами сразу, а использование базы данных в качестве хранилища моделей и результатов

исследований позволяет осуществлять интеграцию комплекса в корпоративную информационную систему, создавая возможность для построения эффективных средств поддержки принятия решений и эффективного управления бизнес-процессами организации.

Четвертая глава описывает применение предлагаемой методики для моделирования бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации. В ней также приводится пример использования построенной системы имитационного моделирования.

В первом разделе описывается система основных бизнес-процессов компании «РостовДонДевелопмент» и предлагается их концептуальная модель. В рамках рассматриваемой организации к основным были отнесены процессы группы A1 – Управлять инвестиционными проектами, в т.ч. A11 – Разработать концепцию инвестиционного проекта; A12 – Управлять процессом проектирования; A13 – Управлять строительством; A14 – Управлять рекламой; A15 – Реализовать объект недвижимости, а также их дочерние процессы.

Второй раздел посвящен вопросам формализации и идентификации модели.

В соответствии с предложенной методикой задаются потоки событий, представляющих собой поступления / уходы заявок и управляющих воздействий. По структуре модель представляет собой сеть СМО, соединенных между собой входящими и исходящими потоками и имеющими общие устройства обслуживания. Она состоит из 74 подсистем, соединенных 342 потоками заявок, обслуживаемых 14 устройствами. Введение векторов характеристик заявок и характеристических векторов обслуживающих устройств размерностью ≥ 1 дает 1347 функциональных зависимостей и числовых параметров модели.

Компонентами векторов характеристик заявок были выбраны абсолютный приоритет заявки p_{11}^i , численная оценка объема работы p_{12}^i , описываемого договором, максимальное время ожидания заявки в очереди p_{13}^i , ценовые предпочтения клиента p_{14}^i и др. В качестве компонент вектора управляющих воздействий – вектор, определяющий дисциплины обслуживания устройством заявок $u_1^1 = (u_{11}^1, u_{12}^1, \dots, u_{1K}^1)$, нормативы на время выполнения операций u_2^1 , величина, характеризующая необходимость создания заявки на IT-обслуживание u_3^1 и некоторые другие, специфичные для конкретных процессов. В качестве показателей выполнения процессов рассматривались величины относительного превышения временем выполнения нормативного значения

$$\rho_{j_0 1}^1 = \frac{1}{m_1^i} \sum_{j \in T_1} \tilde{\tau}_{1j}^i,$$

соотношение числа поступивших и обработанных заявок $\rho_{j_0 2}^1 = \frac{\tilde{n}_1^i}{n_1^i}$, суммарный

объем привлеченных договорами средств $\rho_{j_1 2}^2 = \sum_{j \in T_1} a_{i+1}$, $i: a_i \leq p_{14}^i < a_{i+1}$ и др.

При идентификации видов распределений потоков заявок было сделано предположение, что поступление заявок, составляющих внешние потоки, описывается нестационарным пуассоновским процессом.

Поскольку данные о реальной продолжительности операций при осуществлении процессов в организации были получены на основании опроса экспертов а не сбора статистики, в качестве распределения соответствующих случайных величин рассматривалось β -распределение, параметры которого α_1 и α_2 определялись из экспертных оценок среднего μ и моды c путем решения системы уравнений

$$\tilde{\alpha}_1 = \frac{(\mu - a)(2c - a - b)}{(c - \mu)(b - a)}; \alpha_2 = \frac{(b - \mu)(2c - a - b)}{(c - \mu)(b - a)}.$$

В третьем разделе рассматриваются вопросы, связанные с практическим применением предлагаемой системы имитационного моделирования для планирования и проведения имитационных экспериментов с моделью в рамках решения поставленной задачи по выработке рекомендаций о наилучших путях увеличения производительности моделируемой системы с точки зрения времени реализации проектов.

С технической точки зрения целью вычислительных экспериментов с построенной моделью является оценка относительного влияния входных параметров модели, прежде всего, управляемых, на ее отклик. В качестве основного показателя работы был выбран показатель «виртуального быстродействия» системы. Исходное множество факторов было распределено по четырем группам:

- Структурные параметры системы:, пороговые значения, на основе которых производится разделение потоков $p_{\max}$, дисциплины обслуживания заявок u_1^j и др.
- Нормативные параметры: ценовая политика организации $\{a_i\}_{i=1}^{\infty}$, нормативы времени выполнения операций u_2^j , размеры пени за несвоевременную оплату u_4^{A156} , «степень лояльности» организации по отношению к клиентам $\tilde{a}$ и др.;
- Показатели производительности, например, производительность устройств при выполнении процессов $\tilde{\xi}_i^{A1kj}$, коэффициент роста степени занятости устройств $\tilde{\eta}_i^{A1kj}$, скорость «потребления ИТ-ресурсов» $\tilde{\sigma}_i$, производительность ИТ-отдела c_0 и др.;
- Неуправляемые параметры, например, время реакции окружающей среды на воздействие в виде рекламной кампании Δt , минимальная постоянная интенсивность потока клиентов $\lambda_{1\min}^{A152}$, степень «несговорчивости» клиентов $\tilde{a}$, числовые характеристики распределения ценовых предпочтений клиентов и

максимального времени ожидания ими обслуживания μ_3^{A152} , μ_4^{A152} , σ_3^{A152} , σ_4^{A152} и др.

На основании полученной выборки были рассчитаны главные эффекты воздействия каждого из 4 факторов, а также эффекты взаимодействия каждой из пар факторов.

Эксперименты показали, что наибольшее влияние на отклик модели оказывает фактор 3 «Показатели производительности».

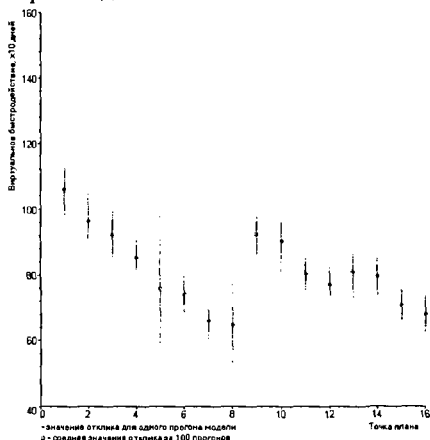


Рис. 7. Значения отклик модели в точках плана на первом этапе экспериментов

Для определения, какие же именно факторы из группы 3 оказывают наибольшее влияние на отклик системы, проведен второй этап экспериментов (рис. 8) – детализация этой группы на несколько подгрупп и оценивание главных эффектов каждой из них. С этой целью было выделено 8 подгрупп. Результаты расчетов показали, что наибольшее значение главного эффекта имеет фактор, определяющий производительность устройств и коэффициент роста степени занятости устройств, остальные же факторы не оказывают существенного влияния на отклик модели.

На основании проделанной работы можно сказать, что основными путями увеличения «виртуального быстродействия» системы являются увеличение производительности и снижение коэффициента роста степени занятости устройств (что на практике означает увеличение числа однотипных устройств, т.е. прием на работу новых специалистов).

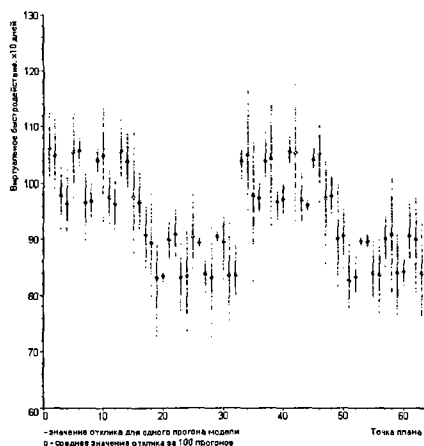


Рис. 8. Значения отклика в точках плана на втором этапе экспериментов

В четвертом разделе рассмотрены аспекты практического использования построенной системы для решения различных задач управления организацией.

Главной причиной ограниченного использования имитационных моделей в процессе выработки и принятия управленческих решений является ограниченность ресурсов: временных, финансовых, персонала. Немаловажным фактором является и сложность решаемых задач. Зачастую руководители приемлют только те модели, которые они в состоянии интуитивно понять, т.е. предпочтение отдается максимально простому анализу, а не комплексным математическим и имитационным моделям. Наконец, следует отметить факт несоответствия ожиданий конечных пользователей модели и ее реальных возможностей.

Все эти факторы являются следствием самой природы имитационного моделирования и не могут быть устранены полностью, однако в процессе разработки моделей можно значительно снизить их влияние. С учетом этого и создавалась предложенная в работе концепция, осуществлялось построение модели и системы имитационного моделирования, которые призваны: сократить время разработки, реализации и внедрения моделей; сократить финансовые затраты на этот процесс; допустить использование построенных моделей и выработку решений исследователями с разным уровнем подготовки.

В предыдущем разделе был приведен пример использования системы имитационного моделирования для выработки управленческого решения об увеличении производительности исследуемой системы. Расчет в процессе моделирования показателей качества позволяет оптимизировать принимаемые решения по нескольким критериям, а также разработать такую систему показателей и корректирующих воздействий, которая позволит удерживать систему в желаемом состоянии.

Клиент-серверная архитектура с вынесенной отдельно СУБД облегчает внедрение системы в уже существующую корпоративную информационную систему организации.

Основные результаты и выводы

В работе произведен анализ методологии функционального описания процессов IDEFO на предмет ее адекватности для моделирования бизнес-процессов организации с учетом динамического характера процессов, возможности их одновременного протекания, а также показателей качества их выполнения и управляющих воздействий, способных повлиять на эти показатели.

На основе анализа сделан вывод о необходимости построения более совершенных и формальных моделей процессов, пригодных для анализа их эффективности и выработки оптимальных управляющих воздействий с точки зрения системы показателей качества.

Разработана методика построения дискретно-событийной модели бизнес-процессов с использованием теории систем массового обслуживания на основе имеющегося функционального описания средствами IDEFO, что позволяет осуществлять разработку имитационной модели на основе уже построенной концептуальной модели, и существенно упростить ее модификацию.

Предложен метод учета в модели показателей качества осуществления процессов, а также управляющих воздействий, влияющих на устройства обслуживания и характеристики обслуживаемых устройств, определяющих время и качество выполнения бизнес-процессов.

С целью практической реализации предложенной методики построен программный комплекс, представляющий собой систему имитационного моделирования, которая является средой для разработки, реализации и использования имитационных моделей бизнес-процессов.

С помощью комплекса разработана и построена имитационная модель системы основных бизнес-процессов инвестиционно-строительной организации и проведены имитационные эксперименты с ней. Целью экспериментов была выработка управленческого решения, направленного на ускорение процесса реализации инвестиционных проектов в области строительства. Анализ результатов имитационных экспериментов показал перспективность направления наращивания производительности обслуживаемых устройств и увеличения их числа.

Основные публикации по теме диссертации

1. Бурыкин Д.В., Тихонов С.В. Формализация и программная реализация задач управления предприятиями холдинга // Научная мысль Кавказа. – Приложение. - №12 (53). – 2003. – С. 66-69.
2. Тихонов С.В. Моделирование бизнес-процессов с использованием аппарата теории систем массового обслуживания // Сборник трудов II конференции "II

- школа-семинар молодых ученых "Управление большими системами". – Т.2. – Воронеж: Научная книга, 2007. – С. 53-59.
3. Тихонов С.В. Методика перехода от IDEF0 к модели в терминах теории систем массового обслуживания при исследовании бизнес-процессов организации // Управление большими системами: сборник трудов. – Выпуск 21. – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 5-15.
 4. Тихонов С.В. Методика перехода от IDEF0 к модели в терминах теории систем массового обслуживания при исследовании бизнес-процессов организации // III Всероссийская молодежная конференция по проблемам управления (ВМКПУ'2008): Труды / Под ред. Д.А. Новикова, З.К. Авдеевой. – М.: ИПУ РАН, 2008. – С. 70-72.
 5. Угольников Г.А., Тихонов С.В. Модель инвестиционно-строительной организации как системы массового обслуживания // Проблемы теории и практики управления. - 2008. - №4.
 6. Угольников Г.А., Мальсагов М.Х., Пичугин Ю.А., Тихонов С.В. Имитационное моделирование устойчивого развития образовательных организаций // Научная мысль Кавказа. Приложение. 2003. №6. С. 165-171.
 7. Тихонов С.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системах массового обслуживания // Сборник трудов V конференции "V школа-семинар молодых ученых "Управление большими системами". – Т.2. – Липецк: изд-во ЛГТУ, 2008 – С. 128-135.
 8. Русанова Я.М., Чердынцева М.И., Тихонов С.В. Интерпретация модели взаимодействия железнодорожного и морского транспорта через грузовой порт как системы массового обслуживания // Труды XIV-ой конференции «Математика. Компьютер. Образование». г. Дубна. 01-2007.
 9. Тихонов С.В. Имитационное моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания (тезисы) // Программа и итоги Студенческой научной конференции (XXXIII студенческая конференция "Неделя науки"). Механико-математический факультет. – Май 2005 г.
 10. Тихонов С.В. Имитационное моделирование морского грузового порта как системы массового обслуживания (тезисы) // Программа и итоги III Межрегиональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Молодёжь XXI века – будущее Российской науки". Май, 2005.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве

[1] - произведена постановка и формализация задач управления бизнес-процессами предприятий холдинга; [5] - сформулирована концепция перехода к дискретно-событийной модели, предложена модель учета управляющих воздействий и показателей качества; [6] - произведена идентификация имитационной модели; [8] – предложена имитационная модель взаимодействия.



Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Формат 60х84/16. Объем 1,0 уч.-изд.-л.

Заказ № 1117. Тираж 120 экз.

Отпечатано в КМЦ «КОПИЦЕНТР»

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 19, тел. 247-34-88
