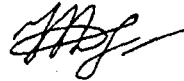


На правах рукописи



Девятков Тимур Владимирович

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В
ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-
СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ**

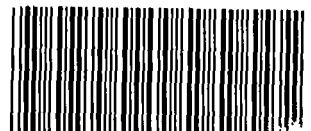
Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование численные методы
и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

2 ИЮН 2011

Москва 2011



4849004

Работа выполнена в Казанском Государственном Техническом Университете им.А.Н. Туполева (КАИ), кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Якимов Игорь Максимович

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Соколов Борис Владимирович
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
Тихомиров Илья Александрович

Ведущая организация Институт проблем управления (ИПУ) РАН им.
В.А. Трапезникова, г. Москва

Защита диссертации состоится "23" июня 2011 г. в 13 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.086.02 при Институте системного анализа (ИСА) РАН.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим выслать по адресу: 117312, Москва, пр-т 60-летия Октября, д.9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института системного анализа (ИСА) РАН.

Автореферат разослан "16" мая 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.086.02

д.т.н., профессор



Пропой А. И.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Перед Россией в начале 21 века стоит дилемма – или оставаться страной, поставщиком сырья и энергоносителей, и поэтому зависящей от конъюнктуры и цен на энергоносители на мировом рынке, или играть роль независимого государства с инновационной экономикой, основанной на знаниях и передовых технологиях. Особенно актуальным этот вопрос стал во время мирового экономического кризиса. В настоящее время в России начаты практические действия к переходу к инновационной экономике. Сейчас реализуется множество федеральных целевых программ, появляются современные отечественные разработки во всех областях науки и техники, модернизируются предприятия, внедряются новые технологии.

В связи с этим все более востребованным является умение и возможность своевременно и точно осуществлять прогнозирование функционирования и развития предприятий, технологий и других сложных систем. Чрезвычайно важно ответить на множество вопросов типа - «А что будет, если?». Например, «А что будет, если - увеличить загрузку системы? уменьшить время обработки? ввести дополнительные мощности? и т.д.».

Получение точных и своевременных ответов на эти вопросы позволит существенно уменьшить издержки предприятий на эксплуатацию систем или избежать дополнительных затрат в процессе разработки или модернизации. Одним из важнейших и наиболее эффективных инструментов, для получения ответов на эти вопросы, является имитационное моделирование (ИМ).

В отличие от других методов, например, использующих аналитические модели, имитационное моделирование позволяет описать функционирование системы без ограничений по уровню детализации, практически «как есть» в реальной действительности. Особенно эффективность применения ИМ возросла в последнее время, в связи со стремительным ростом вычислительных возможностей и совершенствованием программных технологий.

Для расширения границ применения методов ИМ необходим также кардинальный технологический пересмотр всего процесса организации и проведения имитационных исследований, четкое разделение функций между всеми этапами имитационных исследований. Желательно автоматизировать как можно большую часть этапов имитационных исследований, объединить их в рамках единой программной системы и создать необходимый базис инструментальных средств для разработки имитационных приложений в конкретных прикладных областях.

Предмет исследования. Данная диссертация посвящена анализу всего цикла имитационных исследований (ИИ) дискретных систем, разработке методик, технологий и инструментальных программных средств ИМ и ИИ с целью анализа и проектирования сложных систем различного назначения.

Объект исследования – процесс имитационных исследований, методы и среды имитационного моделирования, средства автоматизации процессов содания и применения имитационных моделей и имитационных систем.

Целью работы является разработка интегрированной программной системы имитационных исследований и ее практическая апробация на конкретных примерах.

Для достижения этой цели вводится понятие системы автоматизации имитационных исследований (САИИ), приведена их классификация. Осуществлена структуризация САИИ.

Научная новизна диссертационной работы:

- Проведена структуризация классического процесса имитационных исследований, с целью его последующей автоматизации и интеграции в рамках единого программного комплекса. Выделены основные этапы имитационного исследования и проанализированы их функции и состояния.

- Разработана архитектура трех типов САИИ, рассмотренных в диссертации.

- Разработан и программно реализован метод распознавания статистических законов для обработки выборок большой размерности.

- Проведено исследование и получены зависимости основных показателей функционирования коллективного центра обработки информации (КЦОИ) ЦБ РФ.

- Проведена оптимизация и получены оптимальные значения факторов функционирования КЦОИ ЦБ РФ.

Методы исследования. Для достижения поставленных целей в работе применяются: аппарат теории вероятностей; математической статистики; методов оптимизации; методов распознавания образов; имитационного моделирования. При проведении имитационного моделирования применен пакет прикладных программ GPSS World. Для проведения статистических исследований использован пакет прикладных программ Statistica 7.0. Для оптимизации использовался пакет программ MS Excel. Другие программные средства, использованные при проведении исследований, разработаны самостоятельно.

Достоверность. В связи с тем, что все вычисления в диссертационной работе основаны на численных методах, на каждом этапе проводилась проверка адекватности и подсчет погрешности методов по известным критериям. Практическая апробация на конкретном натурном объекте показала верность вычислений.

Теоретическая значимость и практическая ценность полученных результатов.

- Введен интегрированный коэффициент оценки качества имитационной среды, вычисленный на основе экспертных оценок.

- Разработано описание процесса имитационного моделирования, практическая реализация которого показана в диссертации на ряде реальных применений.

- Разработан метод получения аналитической зависимости исходных данных при помощи комбинации статистических законов.
- Разработаны инструментальные средства автоматизации имитационного моделирования для разных групп пользователей.
- Получена аналитическая запись для общей нагрузки на сервер КЦОИ ЦБ РФ.
- Получены оптимальные значения факторов функционирования КЦОИ ЦБ РФ.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских научно-технических конференциях: «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», г. Казань, 2006, 2007; "Туполевские чтения; на международных конференциях: "ИММОД", г. Санкт-Петербург, 2003, 2005, 2007, 2009; "Information Technologies and Mathematical Simulation of System". Майорка, Испания, 2009 г. и Корсика, Франция, 2010_г.; "13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing", Moscow, Russia; 33-й Международный семинар-презентация Автоматизация. Программно-технические средства. Системы. Применения (2-3 июня 2009 года); на научно- практической конференции «Инновационный путь развития РФ как важнейшее условие преодоление мирового финансово-экономического кризиса». М.:ВЗФЭИ, 2009.

Публикации.

По результатам диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 14 - в трудах Международных и национальных научно-технических конференций, 2 – в виде статей в научно-технических журналах, входящих в Перечень ВАК, 2 авторских свидетельства.

Использование результатов диссертации и пути дальнейшей реализации.

Результаты диссертации в виде методик и имитационных приложений, практически используются на ряде предприятий. Например, КЦОИ ЦБ РФ (г. Санкт-Петербург), ОАО РЖД (г. Москва), ИПИ РАН (г. Москва) и др. Компанией ООО «Элина-Компьютер» (г. Казань) сейчас проводится ряд работ с использованием результатов работы в различных областях – судостроение, авиация и т.д.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Структуризация процесса проведения имитационных исследований.
2. Классификация комплексных систем проведения имитационных исследований, концепции их построения и архитектура.
3. Способы и программные средства интеграции имитационных исследований.
4. Метод распознавания статистических законов для обработки выборок большой размерности.
5. Результаты имитационного исследования с использованием разработанного приложения.

Структура и состав диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и приложения, содержит 183 стр. текста, список использованных источников, включающий 69 наименований, в том числе 18 работ автора.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности проблемы, формулируются направления диссертационного исследования, заключающиеся в разработке методов и средств автоматизации имитационных исследований, ставятся основные задачи, решаемые в диссертации, и определяются пути достижения поставленных задач.

В главе 1 осуществляется постановка задачи и формулируется основная цель диссертации - разработка концепций САИИ - их классификации, архитектуры, функциональной и информационной структуры и практическая апробация.

Приводится описание этапов моделирования:

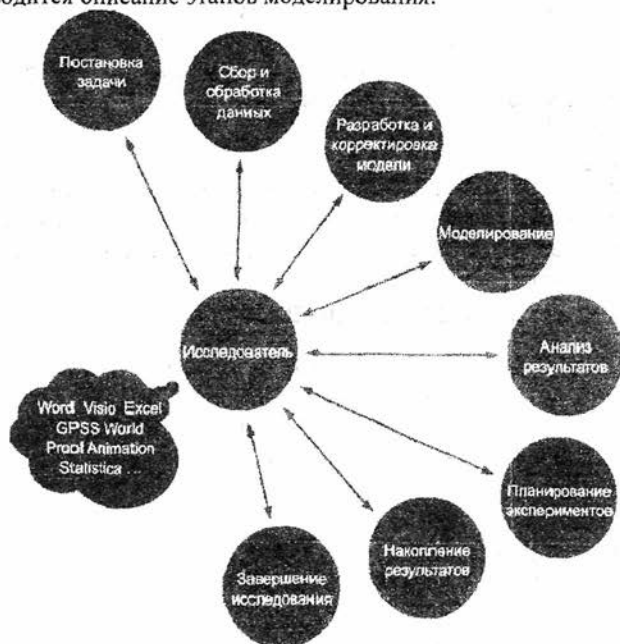


Рис. 1. Основные этапы имитационных исследований

Показано, что большое количество этапов ИИ приходится делать вручную, привлекая сторонние программные продукты.

Вводится структура процесса имитационного моделирования с разбиением на подэтапы.

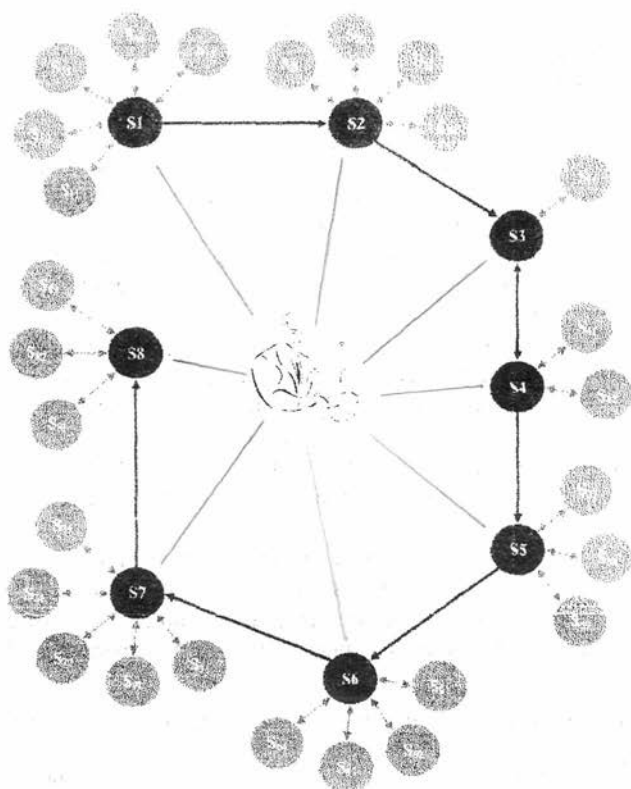
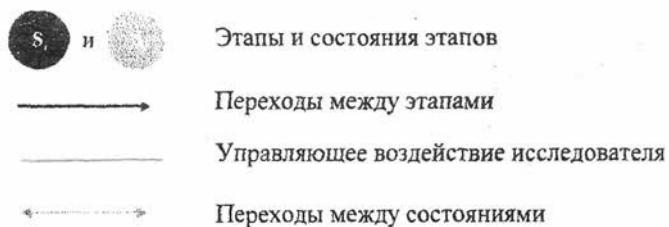


Рис. 2. Процесс имитационного исследования

На приведенной выше схеме использованы следующие обозначения:



Отметим, что процесс имитационных исследований S имеет достаточно сложную структуру, состоящую:

- из множеств - этапов ИИ $\{S_i\}$ и подэтапов $\{S_{ij}\}$;
- переходов между этапами $N_{(S_i, S_{i+1})}$ и подэтапами $N_{(S_{ij}, S_i)}$ и $N_{(S_i, S_{ij})}$;
- управляющих воздействий исследователя $F(i)$.

$$S = \{S_i, S_{ij}, N_{(S_i, S_{i+1})}, N_{(S_{ij}, S_i)}, N_{(S_i, S_{ij})}\} \cup F(i) \quad (1)$$

где, i - индекс этапа ИИ и j - индекс подэтапа на этапе.

Вводится понятие множества систем автоматизации имитационных исследований (САИИ).

Глава 2 посвящена детальному исследованию и структуризации классического процесса имитационных исследований с акцентом на наиболее узкие места, требующие автоматизации. Описаны основные этапы исследования и проанализированы все возможные их подэтапы, с точки зрения их автоматизации и интеграции в рамках единого программного продукта.

Проводится обзор, наиболее используемых программных средств на всех этапах имитационных исследований.

Далее проводится обзор и сравнительный анализ языков имитационного моделирования. Осуществлен детальный анализ реализованных функций с точки зрения автоматизации и визуализации каждого из восьми этапов процесса имитационных исследований в существующих системах ИМ.

Производится классификация САИИ на три основных типа:

- Тип 1 - Интегрированные моделирующие среды для профессионалов ИМ.
- Тип 2 - Универсальные моделирующие среды для широкого круга исследователей из различных отраслей экономики.
- Тип 3 - Имитационные приложения, полностью настроенные на конкретные задачи для крупных корпораций и предприятий.

Таблица 1

Перечень проанализированных систем моделирования, для которых выполнен обзор

№	Наименование	Разработчик	Степень автоматизации ИМ	Степень использования и представления в России	Уровень визуализации
1	Extend	Imagine That, Inc. (USA) www.imagethatinc.com	0.4	Используется, официальных представителей нет	0.45
2	Automod	Applied Materials Inc. (USA) www.automod.com	0.45		0.5
3	Process Model	ProModel Solutions (USA) www.promodel.com	0.5	"Б-Клуб Инжиниринг" (г. Иваново) www.b-club.ru	0.5
4	GPSS World	Minuteman Software Cor. (USA) www.minutemansoftware.com	0.35	Элина-Компьютер (г. Казань) www.elina-computer.ru www.gpss.ru	0.2875
5	eM-Plant	TECNOMATIX GmbH, Израиль www.tecnomatix.com	0.5	TECNOMATIX GmbH, Московское бюро, 109542, Москва, ул.Вострухина, 6-3-56 vt.tecnomatix@g23.relcom.ru	0.55
6	DELMIA QUEST	Dassault Systems www.catia.com	0.5	ГЕТНЕТ Консалтинг, Россия, 111024, г.Москва, Андроновское ш., д.26, стр 2 www.hetnet.ru	0.6

Обосновывается необходимость создания новых интегрированных программных систем имитационных исследований, основанных на максимальной автоматизации и визуализации.

В заключительных разделах главы описывается принцип работы САИИ на базе сервисно-ориентированного подхода (SOA).



Рис. 3. Общая схема работы САИИ, основанной на SOA

В главе 3 приведено описание разработки и практической реализации метода анализа статистических данных большой размерности, реализующего 2 этап проведения ИС по схеме, предложенной в 1 главе.

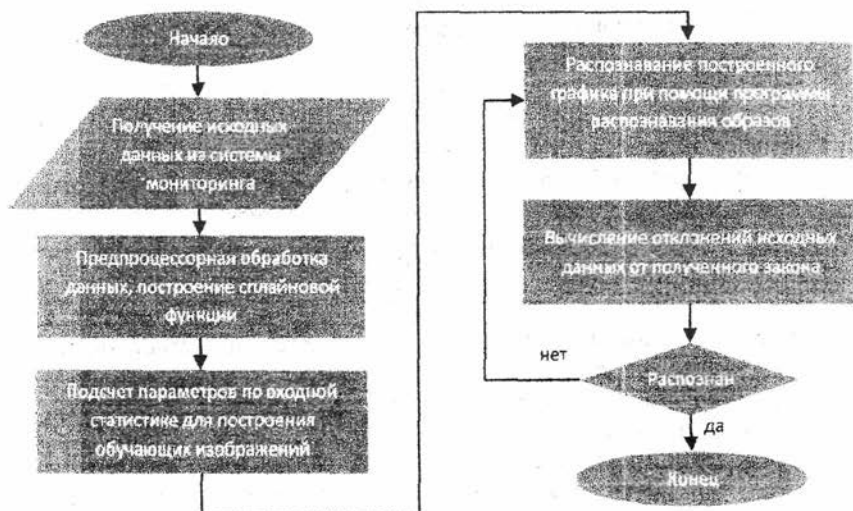


Рис. 4. Алгоритм метода

Метод основан на работе генетического алгоритма Хемминга. На рисунке 4 показан алгоритм реализации предложенного метода от получения исходных данных до выделения самих законов и объединения их в конечную формулу.

Для работы программы необходимо провести обучение генетического алгоритма, которое проводится при помощи следующих функций:

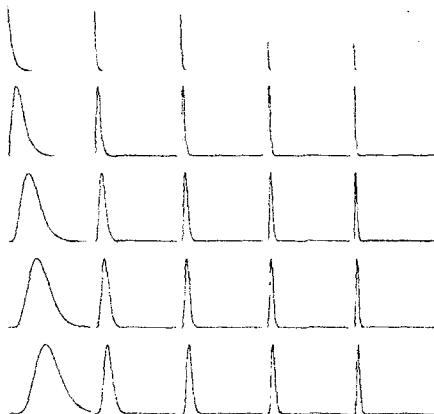


Рис. 5. Примеры изображений для обучения программы распознавания

Каждая из приведенных функций является функцией распределения Эрланга с различными параметрами:

$$\rho(x) = \frac{\lambda^r x^{r-1}}{(r-1)!} e^{-\lambda x}, \quad (2)$$

$$x > 0, \lambda \geq 0, r \geq 1.$$

Где λ – интенсивность, r – количество фаз. При $r = 1$ распределение Эрланга преобразуется к экспоненциальному закону.

Приведенные выше примеры функций выбраны не случайно. Параметры λ и r выбраны в них исходя из исходной статистики. Параметр λ связан с математическим ожиданием выражением $M[X] = r/\lambda$. Эрланговское распределение при $r > 1$ имеет дисперсию $D[X] = r/\lambda^2$. Откуда можно для статистических данных посчитать:

$$\lambda_{исх} = \frac{M[X]}{D[X]}, \quad (3)$$

$$r_{исх} = \frac{M^2[X]}{D[X]}; \quad (4)$$

Далее имея значения параметров на основе исходной статистики, строим серии графиков с параметрами, лежащими в интервалах $[0; 2\lambda_{исх}]$, $[0; 2r_{исх}]$ точность метода достигается за счет увеличения количества точек взятых в этих интервалах.

Следующим шагом алгоритма является само распознавание. При помощи метода распознавания выделяется один закон с уже известными параметрами λ и r . Подсчитываются коэффициенты точности метода:

$$\beta_{cp} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \beta_i; \beta_{общ} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \beta_i; \beta_{абс} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k |n_i \beta_i|, \quad (5)$$

где β_{cp} – среднее отклонение полученного набора законов от исходной статистики; $\beta_{общ}$ – общее отклонение; $\beta_{абс}$ – абсолютное отклонение. Затем проверяется вся ли статистика распознана, если вся то в результате мы получаем комбинацию законов, определенных каждый на своем интервале. В конце главы приведен пример для комбинации законов поступления заявок на обработку в КЦОИ ЦБ РФ, описано применение метода.

Таблица 2

Список параметров распознанных законов

i	λ	r	$x_{норм}$	$x_{i,нач}$	$x_{i,кон}$	α_i	β_i
1	2.612	3	0.13	0	0.087	0.087	0.014
2	5.312	3	0	0.087	0.138	0.051	-0.044
3	9.856	3	-0.16	0.138	0.195	0.057	0.0195
4	2.97	5	0.503	0.195	0.263	0.068	0.0385
5	10.23	1	-0.266	0.263	0.275	0.012	0.0145
6	0.657	1	-0.165	0.275	0.344	0.069	-0.0115
7	30.875	1	-0.185	0.344	0.368	0.024	0.0015
8	0.648	1	-0.179	0.368	0.395	0.027	0.0375
9	27.397	3	-0.257	0.395	0.416	0.021	0.0465
10	0.547	1	-0.249	0.416	0.47	0.054	-0.0395
11	10.275	5	-0.354	0.47	0.497	0.027	0.007
12	14.359	5	0.135	0.497	0.553	0.056	-0.011
13	25.378	3	-0.555	0.553	0.57	0.017	-0.0255
14	3.999	2	-0.563	0.57	0.598	0.028	0.0305
15	23.738	2	-0.345	0.598	0.614	0.016	-0.0105
16	11.387	6	-0.482	0.614	0.665	0.051	-0.0005
17	31.028	1	-0.532	0.665	0.69	0.025	-0.0435
18	24.587	5	-0.305	0.69	0.76	0.07	0.0345
19	25.123	1	-0.587	0.76	0.788	0.028	-0.033
20	12.353	1	-0.506	0.788	0.908	0.12	-0.0045
21	0.389	2	-0.501	0.908	0.99	0.092	0.0225

Подсчитаем коэффициенты точности метода:

$$\beta_{cp} = 0,002048; \beta_{общ} = 0,002248; \beta_{абс} = 0,003112.$$

В результате получаем функции плотностей распределения эрланговских законов следующего вида:

$$\rho_i(x) = \frac{\lambda_i^{r_i} (x + x_{норм})^{r_i - 1}}{(r_i - 1)!} e^{-\lambda_i (x + x_{норм})}, \quad (6)$$

где $x \in (x_{i,нач}, x_{i,кон}]$, λ_i , r_i , $x_{норм}$ – определены в таблице 2.

В главе 4 приведены результаты программной реализации инструментальной визуальной среды разработчика имитационных моделей - профессионала в области ИМ (пример САИИ – типа 1) с использованием языка GPSS и соответствующей программной среды.

Описывается пример сервисно-ориентированного подхода к разработке моделей в данной среде. Он основан на создании множества компонент, автоматизирующих тот или иной этап работы профессионала ИМ в процессе имитационных исследований. Это такие компоненты как:

- разработка и редактирование моделей на GPSS;
- автоматизированная генерация статистических функций по результатам мониторинга исследуемой системы;
- внутренний мониторинг моделей в процессе эксперимента;
- автоматизация проведения экспериментов;
- визуализация результатов эксперимента и серии экспериментов;
- интерактивная обработка стандартных отчетов GPSS;
- сервер, организующий распределенную обработку моделей;
- клиентская компонента и др.

Каждая из перечисленных выше компонент рассматривается как универсальный сервис с общим подходом по архитектуре построения, интерфейсу, формату данных.

Изложены результаты реализации имитационного приложения для моделирования системы коллективной обработки информации банка (пример САИИ типа 3). Описывается предметно – ориентированный язык пользователя по вводу исходных данных, предварительной обработке и анализу результатов.

Подробно излагаются принципы, заложенные в основу визуальных программ обработки и представления статистических исходных данных из файлов реальных систем мониторинга. Представляется реализация языка пользователя по представлению и способам анализа результатов моделирования. Приводятся результаты использования приложения в процессе практических исследований по оценке производительности и пропускной способности системы коллективной обработки.

Далее решается задача выбора на имитационной модели числа процессоров сервера zSeries КЦОИ-2 для гарантированного обеспечения обработки потока электронных документов по 26 обрабатываемым регионам с суммарным документооборотом по приведенному примеру 26881968 документов в месяц или в среднем по 1280094 документов в день.

При исследованиях производительности целесообразно проверить минимальную, обычную и максимальную нагрузку. Особенно интересна максимальная нагрузка, которая в итоге и определяет требования к оборудованию, хотя она может быть только один день. Учитывая важность наивысших значений нагрузки, в каждом диапазоне нагрузки, были выбраны следующие значения для экспериментов:

- минимальная нагрузка дня – 1,3 миллиона документов в день;
- обычная нагрузка дня – 1,5 миллиона документов в день;
- максимальная нагрузка дня – 1,7 миллиона документов в день.

Первым этапом исследования был сбор и подготовка исходных данных для проведения эксперимента и ввод их в модель. В результате в модель были введены данные по всем 26 регионам.

Было необходимо определить оптимальное число процессоров для многопроцессорного сервера IBM zSeries. Заказчику было необходимо минимизировать стоимость всего комплекса, при обеспечении этим комплексом возможности обработки поступающей нагрузки. Один из важных параметров – время выполнения моделирования, как некоторая оценка оперативности предоставляемых данных.

В общем виде задача оптимизации записывается следующим образом:

$$\begin{cases} f(X) \rightarrow \min \\ g_j(X) \leq 0, j = \overline{1, k} \\ X \in D = \{(x_1, \dots, x_n): x_i \in [a_i, b_i], i = \overline{1, n}\} \end{cases} \quad (7)$$

Для поставленной задачи отобрана совокупность факторов, которые практически можно варьировать, не нарушая целостности уже работающей системы:

- x_1 – количество процессоров (шт.);
- x_2 – объем оперативной памяти (гигабайты);
- x_3 – нагрузка (суточный документооборот, млн.).

Отобраны результативные показатели эффективности работы КЦОИ:

- y_1 – общая цена системы (млн. долл.);
- y_2 – время решения задачи (часы);
- y_3 – коэффициент использования сервера;
- y_4 – превышение регламента обработки (часы);
- y_5 – общая длительность максимальной загрузки сервера (часы);

Для проведения оптимизации построили математическую модель, состоящую из совокупности уравнений регрессии:

$$y_i = f(x_1, x_2, x_3), i = \overline{1, 5} \quad (8)$$

При общем виде показателей

$$\begin{aligned} y_i = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + \\ & + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + \\ & + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \end{aligned} \quad (9)$$

Следует отметить существенную длительность экспериментов. Особенно резко она увеличивалась при повышенной нагрузке на систему. Т.е. когда много электронных документов, а ресурсов не хватает. Алгоритм имитации таков, что обрабатываются все события, в том числе и когда процессора заняты. И в случае возникновения очереди и «борьбы» за процессор таких событий становится чрезвычайно много. Поэтому план экспериментов был ограничен.

Планирование экспериментов проводилось по D-оптимальным планам (план Кифера). Для данного плана можно сразу указать: вершин куба – 8;

середин ребер – 12; центров граней – 6. Геометрическая интерпретация для данного плана при трех факторах можно представить следующим образом.

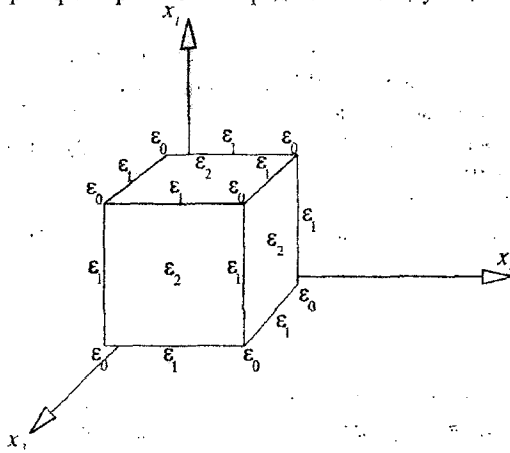


Рис. 6. Графическая интерпретация плана Кифера для 3 факторов

В результате использования модуля «Multiple Regression» были получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = x_1 + 0,03x_2 \quad (10)$$

$$y_2 = -6,605x_1 - 0,6x_2 + 3,5673x_3 + 2,2438x_2x_3 + 0,4341x_3^2 \quad (11)$$

$$y_3 = -0,12323x_1 - 0,05123x_3 + 1,5371 \quad (12)$$

$$y_4 = -0,12681x_1 - 0,01303x_2 + 1,34073x_3 - 0,00315x_1x_2 - x_3^2 - 1,9012 \quad (13)$$

$$y_5 = -0,5534 - 0,089687x_1 - 0,011532x_2 + 1,359643x_3 - 0,027718x_1x_3 \quad (14)$$

Далее ставится задача получения оптимального решения по цене системы, т.е. минимизировать цену системы при наложенных ограничениях:

$$y_1 \rightarrow \min, \text{ при } 0 \leq y_2 \leq 24; 0,7 \leq y_3 \leq 0,8; 0 \leq y_4 \leq 1; 0 \leq y_5 \leq 1.$$

Для решения задачи использовались стандартные методы, Ньютона и сопряженных градиентов с использованием модуля «ПОИСК РЕШЕНИЯ» в ППП MICROSOFT EXCEL 2003.

Было найдено решение: $x_1 = 7; x_2 = 26; x_3 = 1,5$.

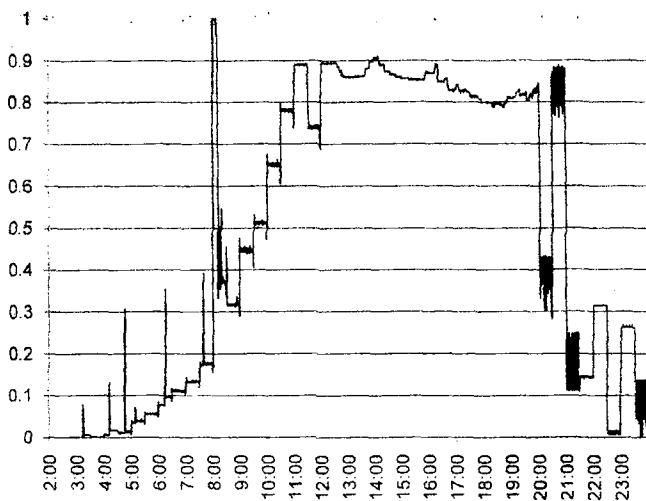


Рис. 7. Нагрузка на сервер (7 процессоров)

Результаты проведенного в диссертации исследования позволили дать ЦБ РФ практические рекомендации по конфигурации аппаратных средств для указанного выше КЦОИ, которые были использованы в действующей в настоящее время системе.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Совокупность результатов проведенной работы можно квалифицировать как решение актуальной задачи создания нового подхода для выбора структуры и функций, проектирования и применения систем автоматизации имитационных исследований.

Основные выводы по работе можно сформулировать в виде следующих положений:

1. Проведен детальный анализ и формализация процессов имитационных исследований при классическом подходе к моделированию и разбиение этого процесса на основные этапы с точки зрения их автоматизации и интеграции в рамках единого программного продукта.
2. Осуществлен сравнительный анализ реализованных функций автоматизации и визуализации каждого из этапов процесса имитационных исследований в существующих системах ИМ и в других, используемых исследователями, программных средствах.
3. Введено понятие системы автоматизации имитационных исследований (САИИ) и основные показатели их оценки – время исследования, степень визуализации и уровень автоматизации.

4. Проведен анализ и дана классификация множества САИИ трех основных типов; предложена формализация процессов ИМ для всех трех типах САИИ (на уровне этапов и состояний этапов).
5. Разработаны концепции построения и общая архитектура САИИ на базе сервис ориентированного подхода (SOA) и построена соответствующая этому подходу информационная модель данных.
6. Теоретически обоснован и программно реализован новый метод обработки статистических данных большого объема на основе методов распознавания образов.
7. Осуществлена программная реализация имитационных приложений САИИ трех типов, рассмотренных в диссертации, и проведена их практическая апробация в ведущих организациях страны.
8. Проведены сравнительные исследования результатов внедрения предложенных средств автоматизации в ряде практических задач имитационных исследований.

IV. СПИСОК РАБОТ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях, определённых ВАК

1. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложений // Информационные технологии и вычислительные системы. №2. 2009 г. С. 5-12. Работа выполнена при поддержке РФФИ – Проект №08-07-00205.
2. Девятков Т.В. Некоторые вопросы создания систем автоматизации имитационных исследований // Прикладная информатика. 2010 г. №5(29). С 102-116.

Работы, опубликованные в других изданиях

3. Девятков Т.В., Якимов И.М. Визуальное моделирование // Первая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика». (Санкт-Петербург, 2003 г.) Сборник докладов, том 2. С 96-99.
4. И.М.Якимов, Т.В.Девятков Имитационное моделирование без программистов // Сб: Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества: Тезисы докладов 2-й ежегодной международной научно-практической конференции. (Казань, 2004 г.) С. 91-92.
5. Т.В.Девятков Визуальная разработка имитационных моделей // Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному

- моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика». (Санкт-Петербург, 2005 г.) Сборник докладов. Т. 1. С. 191-195.
6. Девятков Т.В. Визуализация этапов имитационного моделирования // Сб. Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества: Тезисы докладов 4-й ежегодной международной научно-практической конференции, (Казань, 2006 г.) С. 93 - 95.
 7. Девятков Т.В. Визуальная система моделирования // Туполевские чтения. (Казань, 2007 г.) Сборник докладов. С. 24-26.
 8. Девятков Т.В. Система автоматизированной подготовки и аттестации // Сб. Инфокоммуникационные технологии глобального информационного общества: Тезисы докладов 5-й ежегодной международной научно-практической конференции. (Казань, 2007 г.) С. 244 - 245.
 9. Козлов А.Н., Девятков Т.В., Кейер П.А. Исследование функционирования центра коллективной обработки информации методом имитационного моделирования // Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика». (Санкт-Петербург, 2007 г.) Сборник докладов. Т. 2. С. 96 – 100.
 10. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Концепции и методы разработки распределенных имитационных приложений с использованием GPSS World // Труды международной научно-технической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование систем 2008-2009». М.: Радиотехника, 2009. – с. 19-26.
 11. Vlasov, S.A., Deviatkov, V.V., Deviatkov, T.V.. Development's Conception and Methods of Distributed Simulation Applications with using of GPSS World // Environment. In: Theses of International Scientific and Technical Conference "Information Technologies and Mathematical Simulation of System". 2008. Majorca. Spain.
 12. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Язык моделирования GPSS World и системы автоматизации имитационных исследований: опыт применения и перспективы использования // Четвертая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика». (Санкт-Петербург, 2009 г.), Сборник докладов. Т. 1. С.11-18.
 13. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В., Самойлов В.В. Разработка и применение имитационных приложений для развития системы сервисного обслуживания АСУ ОАО «Татнефть» // 33-й Международный семинар-презентация Автоматизация. Программно - технические средства. Системы. Применения (Москва, 2009 г.). Сборник докладов. - М.: Институт проблем управления. С. 6-15.

14. Vlasov S.A., Deviatkov V.V., Deviatkov T.V. Creation Principals of Universal Modeling Environment for Simulation Application Development // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. 2009. Moscow, Russia.
15. Половников В.А., Кобелев Н.Б., Девятков В.В., Девятков Т.В. Имитационное моделирование как антикризисное средство уменьшения издержек предприятий // Труды международной научно-практической конференции «Инновационный путь развития РФ как важнейшее условие преодоление мирового финансово-экономического кризиса». М.: ВЗФЭИ. 2009. С. 176-181.
16. Власов С.А., Девятков Т.В., Кобелев Н.Б., Девятков В.В. Проблемы и возможности создания пакета прикладных программ имитационного моделирования для супер-ЭВМ на основе российских разработок в области имитационного моделирования // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2009-2010. Труды международной научно-технической конференции. – М.: Учреждение Российской академии наук Центр информационных технологий в проектировании, РАН. С.77-86.
17. А.с. 2011612073 Российская Федерация. Система имитационного моделирования построечно-спусковых комплексов с сухими доками сопутствующими объектами инфраструктуры / Долматов М.А., Девятков Т.В., Федотов Д.О., Федотов М.В. (Россия). – N 2010617424; заявл. 25.11.2010; опубл. 11.03.2011.
18. А.с. 2011620171 Российская Федерация. Электронная библиотека имитационных моделей типовых объектов судостроительного производства / Долматов М.А., Девятков Т.В., Федотов Д.О., Федотов М.В. (Россия). – N 2010620379; заявл. 19.06.2010; опубл. 28.02.2011.

В перечисленных работах все результаты - связанные с, алгоритмизацией, разработкой моделей, программной реализацией и вычислительными экспериментами на ЭВМ, получены автором лично. Результаты по анализу методов и средств имитационных исследований, получены совместно с Девятковым В.В., Якимовым И.М., Власовым С.А. и являются неделимыми.

*Отпечатано в ООО «Печатный двор»,
г. Казань, ул. Журналистов, 1/16, оф.207
Тел: 272-74-59, 541-76-41, 541-76-51.
Лицензия ПД №7-0215 от 01.11.2001 г.
Выдана Поволжским межрегиональным
территориальным управлением МПТР РФ.
Подписано в печать 10.05.2011 г. Печ.л.1,1
Заказ № К-7040. Тираж 100 экз. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать - ризография.*