

# Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложений<sup>1</sup>

С.А. Власов, В.В.Девятков, Т.В.Девятков

**Аннотация.** В статье описываются принципы организации универсальной моделирующей среды и ее возможности по построению различных имитационных приложений. Приводятся примеры использования среды при реализации отдельных приложений. Обозначаются перспективы ее развития

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, имитационные исследования, имитационное приложение, программные модули, универсальная моделирующая среда.

## Введение

Применение имитационного моделирования (ИМ) на практике - это не просто создание модели, но и *постановка задачи, сбор и накопление необходимых данных, разработка плана эксперимента и его реализация, детальный анализ результатов и т.д.*

Данный процесс достаточно давно и детально описан и называется классиками имитационным исследованием [1].

Таким образом, при практическом использовании ИМ требуется не просто предоставление набора программных средств для автоматизированного исполнения отдельных этапов, а наличие **унифицированной и интегрирующей моделирующей среды**, на базе которой можно было бы оперативно создавать имитационные приложения для проведения пользователем имитационного исследования в выбранной предметной области [2,3].

Актуальность создания такой моделирующей среды сейчас существенно повышается в

связи с растущим спросом на практические имитационные исследования. Это подтверждает и повседневная практика авторов – если несколько лет назад разговор с потенциальным пользователем о проведении моделирования вызывал лишь усмешку, то сейчас, в большинстве случаев, это воспринимается как необходимость и вопрос начала работ может упираться только в наличие у пользователя ресурсов для проведения таких работ.

Следует отметить, что созданные и эксплуатируемые инструментальные средства ИМ (общецелевые языки, коммерческие симуляторы и др.) [4,5] пока не позволяют превратить процесс имитационных исследований из «искусства и науки» [6] - в инженерную задачу, доступную широкому кругу системных аналитиков. До сих пор имеется очень небольшое число применений ИМ в реальной экономике, и в связи с этим воспользоваться этим инструментом может лишь ограниченное число специалистов.

Поэтому, действительно нужен набор гибких и унифицированных программных средств,

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ-Проект №08-07-00205

позволяющих в сжатые сроки разработать полнофункциональное и простое в применении имитационное приложение для конкретной предметной области.

## 1. Концепции и функциональная структура универсальной моделирующей среды

В основу универсальной моделирующей среды заложены принципы создания имитационных приложений, описанные авторами в [3]. Методологически все основывается на автоматизации отдельных этапов имитационного исследования с последующим объединением их в единую программную систему – **имитационное приложение**.

С учетом практически неограниченных возможностей детализации при ИМ, мощности и производительности современных компьютеров и развития современных программных технологий - имитационное приложение становится синтезом этапов классического ИМ и других информационных технологий. Оно способно включать в себя также и необходимые для исследования аналитические и физические модели как способы представления объекта моделирования, наполнения данными и анализа исследуемой системы (Рис. 1). Это было интуитивно понятно и раньше, но становится еще более очевидным сейчас, в эпоху глобализации и интеграции всех систем и процессов.

**Аналитические модели** – это всевозможные алгоритмы и методы расчета, проверки и ввода в имитационную модель исходных данных и формы и способы представления результатов моделирования.

**Физические модели** – это использование, при необходимости, натуральных стендов, тренажеров и других прообразов системы или ее элементов в процессе имитационного эксперимента.

В данной статье описываются результаты работ по созданию теоретических основ универсальной моделирующей среды и на ее основе практических имитационных приложений, выполненных при непосредственном участии авторов в течение нескольких последних лет.

Идея создания моделирующей среды появилась у авторов несколько лет назад (в 2003 г.) и последовательно претворяется в жизнь.

Следует отметить, что моделирующая среда – это лишь «полуфабрикат», т.е. не полностью готовый для использования аналитиками программный продукт, а лишь набор строительных элементов и конструкций для его создания. Это не только программные средства, но и методики объединения, стандартные интерфейсы и другие процедуры. Для того чтобы «сконструировать» из этого приложение, необходим творческий союз программиста и аналитика.

**Аналитик** должен грамотно и профессионально поставить задачи, решаемые приложением, определить перечень и источники получения исходных данных и разработать

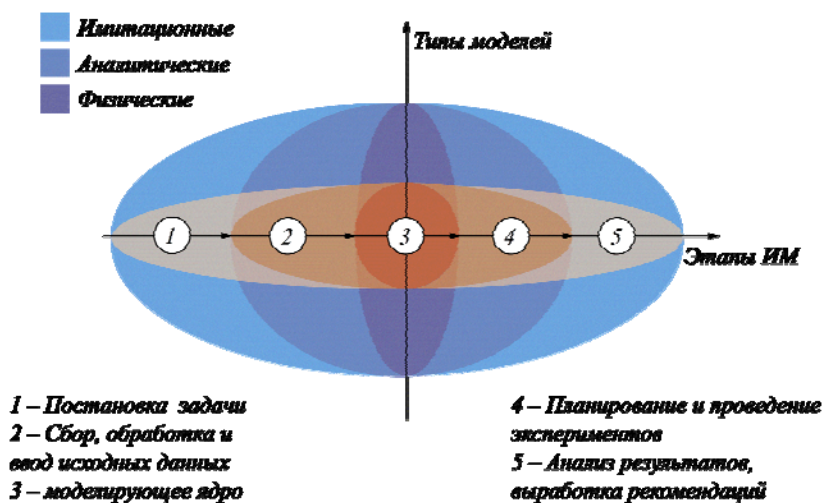


Рис. 1. Интеграция этапов ИМ и различных типов моделей в имитационном приложении

формы для ввода входных данных и представления результатов в соответствии со сложившимися в данной предметной области терминологией, традициями и документооборотом. Аналитик также должен осуществить работы по проверке адекватности заложенной в приложение модели.

**Программист** должен правильно собрать и настроить имеющиеся средства и при необходимости доработать или разработать новые программные модули.

## 2. Что входит в универсальную моделирующую среду?

Универсальная моделирующая среда создается для оперативной разработки имитационных приложений системными аналитиками и программистами, поэтому в состав ее входит не только программное обеспечение. Универсальная моделирующая среда состоит из следующих частей:

- **программных модулей**, из которых складывается единый программный комплекс приложения;
- **эксплуатационной и программной документации разработчика** по каждому из программных модулей;
- **методические и архитектурные стандарты** для разработчика по способам и правилам **сопряжения** программных модулей в единую интегрированную программную систему.

### 2.1. Программные модули

Функционально все программное обеспечение унифицированной моделирующей среды может быть разбито на ряд автономных программных модулей, выполняющих ту или иную задачу. В целом состав программных модулей моделирующей среды близок к структуре процесса имитационных исследований. Но есть и отличия в связи с тем, что некоторые программные модули, в силу своей универсальности, могут применяться на нескольких этапах исследования или на одном этапе могут быть применены сразу несколько программных модулей. В состав моделирующей среды также могут входить модули аналитических расчетов, модули сопряжения с физическими моделями и т.д.

В принципе, для каждого приложения состав программных модулей может сильно отличаться. Но из всего множества программных групп можно выделить три вида стандартных групп (подсистем), которые обязательно входят в состав приложения (рисунки 2-4):

- группа программных модулей ввода исходных данных;
- группа программных модулей организации и проведения экспериментов;
- группа программных модулей анализа результатов.

Состав программных модулей внутри группы также может меняться. Например, для локальных приложений модуль организации сете-

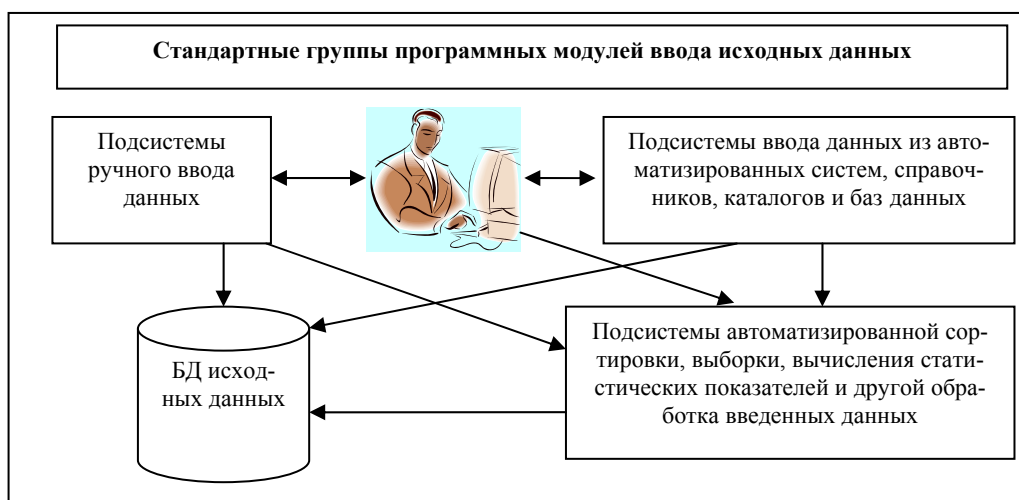


Рис. 2. Структура подсистемы ввода и корректировки исходных данных

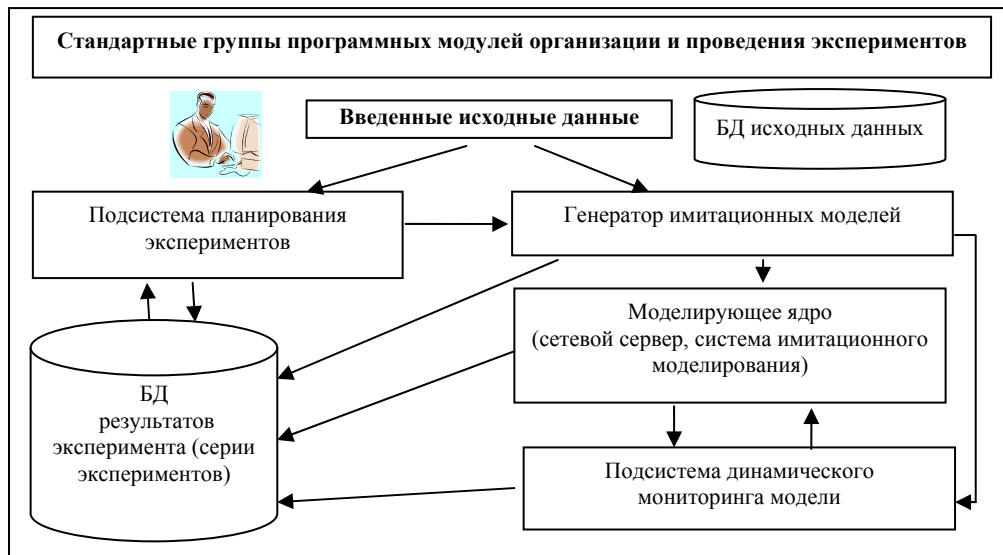


Рис. 3. Структура подсистемы организации и проведения экспериментов

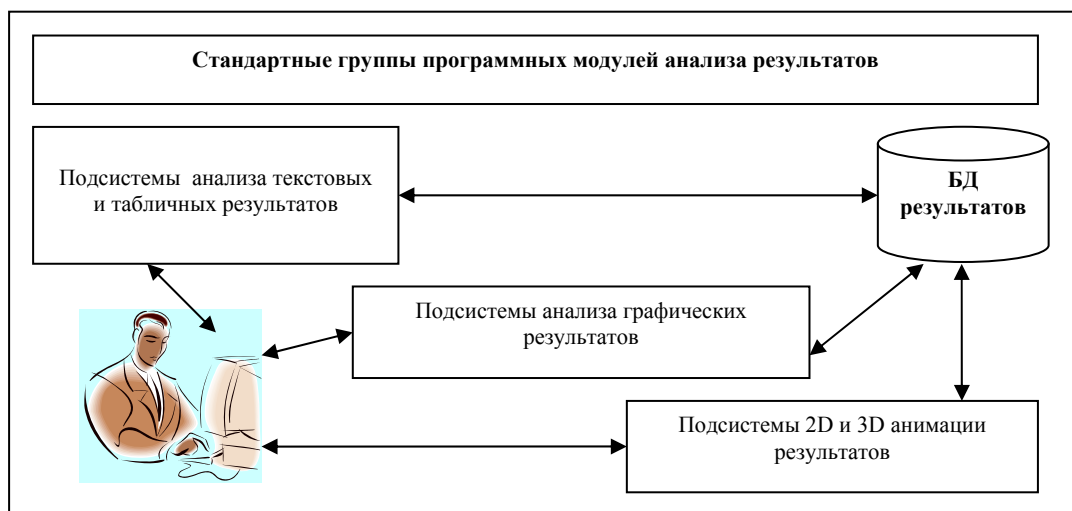


Рис. 4. Структура подсистемы анализа результатов

вой работы не нужен, а для распределенных приложений – обязателен.

С точки зрения степени готовности к использованию при создании имитационного приложения все программные модули необходимо разделить на три части:

- **универсальные** программные модули, входящие в состав имитационного приложения без внесения разработчиком каких либо изменений;

- **настраиваемые** программные модули, зависящие от предметной области и поставленных задач исследования; данная зависимость при использовании их в конкретном имитаци-

онном приложении выражается проведением несложных настроечных процедур, разработкой скриптов и т.д.;

- **разрабатываемые** программные модули, определяющие исключительные особенности данного приложения.

Универсальные модули не требуют никаких программных доработок или настроек. Необходимо только организовать предварительную подготовку и правильный ввод (ручной или автоматизированный) исходных данных, шаблонов и примитивов в универсальный модуль. Необходимо также знать структуру выходных данных,

являющихся входными для других программных модулей. Примером универсальных модулей могут быть модули 2D и 3D визуализации входных и анимации выходных данных, моделирующее ядро (используемая общецелевая система ИМ), база данных результатов экспериментов и серий экспериментов.

Настраиваемые модули - это готовые к применению, но требующие настройки программные модули. Настройка обычно представляет собой выбор пути к программам, ввод значения варьируемых параметров, подключение библиотек и файлов с исходными данными, задание форм входных и выходных данных, выбор интервалов наблюдений и т.д. Примером программных модулей такого типа, является подсистема динамического мониторинга, настраиваемая на перечень данных, собираемых в процессе эксперимента.

Разрабатываемые модули - это наиболее неопределенный и неформализованный тип программных модулей. В любой предметной области возможны нюансы и особенности. Наиболее характерным примером таких модулей являются модули, реализующие интерфейс пользователя. В связи с тем, что одним из основных принципов разработки имитационного приложения является максимальное приближение интерфейса пользователя приложения к действиям системного анализа в реальной жизни, всегда возникает необходимость разработки некоторого количества новых программных модулей.

## **2.2. Эксплуатационная и программная документация для разработчиков имитационных приложений**

После первоначальной разработки и проверки работоспособности в целом ряде реальных имитационных приложений программный модуль может быть включен в состав универсальных или настраиваемых программных модулей моделирующей среды. Обязательным условием при этом является наличие качественно разработанной документации двух видов. Документация для программиста – «Руководство программиста», «Текст программ», и документация по эксплуатации данного модуля в имитационном приложении – «Руководство пользователя», «Контрольный пример».

Исключительно важным условием является наличие исходных модулей, только в случае крайней необходимости в состав среды может быть включен программный модуль без наличия исходных модулей (без документа «Текст программы»). Такими случаями могут быть:

- простая в использовании, широко известная и апробированная программа, постоянно поддерживаемая и сопровождаемая разработчиком;

- дороговизна или невозможность приобретения исходных модулей программы, при этом с разработчиком программы устанавливаются долгосрочные договорные отношения по консультированию и устранению ошибок.

Примерами первого случая могут служить используемые в имитационных приложениях известные программы MS Excel и Macromedia Flash (в комплексе с внутренним языком ActionScript).

Использование MS Excel было обусловлено: широкими возможностями данной офисной программы по обработке табличных данных; и то, что практически любой пользователь компьютера имеет навыки работы в ней; необходимость быстрого завершения разработки.

Программа Macromedia Flash позволила в кратчайшие сроки решить вопросы построения 2D анимации. Качество графики и простота данной программы общеизвестны.

Ко второму случаю относятся те программы, которые исключительно сложны, требуют для разработки больших финансовых и временных ресурсов. Кроме того, эти программы являются стандартом «де-факто» в этой области знаний. Примером такой программы является общецелевая система моделирования GPSS World [10]. Данная система была использована во всех разработанных нами имитационных приложениях (например, [7-9]) в качестве «моделирующего ядра».

## **2.3. Методические и архитектурные стандарты сопряжения программных модулей в моделирующей среде**

Наличие работающих и хорошо документированных программ еще не позволяет эффективно организовать процесс разработки имитационных приложений. Для этого нужно

определить общие принципы архитектуры всего приложения и стандарты программного сопряжения всех модулей.

Концептуально можно сформулировать следующие основополагающие принципы архитектуры имитационного приложения.

1. В каждом имитационном приложении должен быть единый управляющий модуль, т.е. программный модуль, с которого начинается и заканчивается работа приложения и через который осуществляется взаимосвязь всех используемых в приложении модулей.

2. Приложение должно создавать единые по структуре организации базы данных – моделей и результатов.

3. Язык диалога приложений по вводу данных и анализу результатов должен максимально соответствовать языку предметной области исследования и терминологии, сложившейся в данной моделирующей среде (документ «Термины и определения моделирующей среды»).

4. Пользователь должен быть освобожден от разработки модели непосредственно на языке имитационного моделирования. Имитационное приложение должно обеспечивать автоматическую генерацию и сборку модели по введенным пользователем данным.

5. Информационное сопряжение используемых модулей должно быть максимально унифицировано, путем применения широко известных языков структурирования данных (например, XML); корпоративными и международными соглашениями и стандартами по обмену данными.

*Согласно первому принципу* и в соответствии с составом программных модулей, приведенных на рисунках 2- 4, в целом архитектуру имитационного приложения можно представить следующим образом (Рис. 5).

Таким образом, обязательно должен создаваться единый управляющий всем процессом имитационного исследования модуль.

Несмотря на существенные различия в составе и формах представления данных в модулях «Исходные данные» и «Результаты моделирования» в каждом имитационном приложении, можно и необходимо унифицировать структуры этих данных в целом для всех приложений *в соответствии с принципом 2*. Общая архитектура информационного приложения показана на Рис. 6.

Необходимо отметить, что даже эта, еще достаточно условная, структура показывает возможности унификации при построении информационной модели данных приложения. Все основывается на понятиях модель, параметры модели, эксперимент с моделью, серия экспериментов с моделью. Иерархия этих объектов при построении модели данных является исключительно жесткой. В части других элементов структуры данных возможны вольные трактовки, но постепенно вся иерархия модели данных будет обрастать подробностями и деталями.

Одним из наименее формализуемых принципов разработки имитационных приложений является *принцип 3* – язык пользователя по вводу данных и анализу результатов. Причиной этому служат разительные отличия языка предметной области в каждом из приложений. Действительно, на железнодорожном транспорте одна терминология и способы представления информации, в банках – совершенно другая. Тем не менее планируется в ближайшее время создать программы автоматизированного проектирования оконных графических диалогов по сценариям пользователя.

*Принцип 4* в универсальной моделирующей среде реализуется в настоящее время в каждом по уникальной для каждого имитационного при-

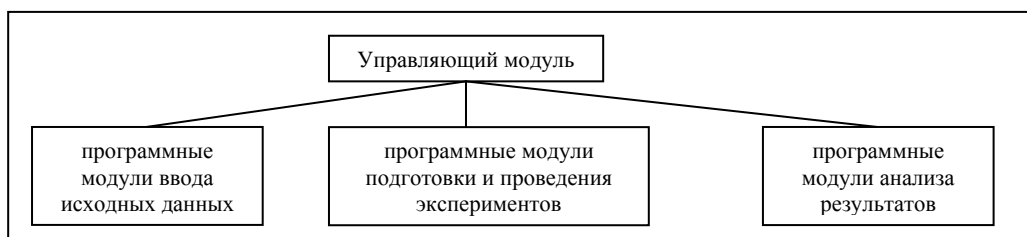


Рис. 5. Общая архитектура построения имитационного приложения



Рис. 6. Общая архитектура информационной модели приложения

ложения программе - генераторе кодов. В настоящее время идет разработка подсистемы формального графического описания системы и генерации кодов. В этой подсистеме с помощью специального математического аппарата абстрактного описания сложных дискретных систем [11] и в соответствии с введенным пользователем описанием осуществляется автоматическая генерация кода модели на языке GPSS World.

Реализация *принципа 5* в текущей версии универсальной моделирующей среды осуществляется частично. В ряде случаев для этого используется язык структурирования данных XML, в некоторых случаях удается обойтись обычными TXT файлами. Но общих правил и стандартов пока не выработано, однако необходимо в самое ближайшее время приступить к полной реализации данного принципа.

### 3. Основные результаты и перспективы развития

Работа над моделирующей средой организована таким образом, что сначала (2003-2007 г.г.)

были реализованы программные модули (динамический мониторинг, планирование эксперимента, сервер распределенного моделирования и др.) или выбраны из готовых программ (моделирующее ядро) базовые элементы, используя которые уже можно создавать имитационные приложения. Сейчас идет параллельно и разработка реальных имитационных приложений на имеющемся базисе, и планомерное наращивание универсальных программных средств среды.

К настоящему моменту моделирующая среда позволила осуществить на практике успешную разработку целого ряда имитационных приложений (например, [7-9]). Все они приняты Заказчиками в эксплуатацию.

Сейчас, при наличии четкой постановки задачи исследования, практически любой программист, используя набор инструментальных средств моделирующей среды и все описания, может разработать имитационное приложение за несколько месяцев. Еще несколько лет назад на это уходило более 6 месяцев работы профессионала высочайшей квалификации. Это и является основным ре-

зультатом применения универсальной моделирующей среды к настоящему моменту.

В заключение обозначим задачи, которые необходимо решить в ближайшее время с целью усовершенствования проведенных разработок в направлении их большей универсализации.

1. Завершить разработку настраиваемой подсистемы «Формальное графическое описание системы и генерации кодов».

2. Создать единую унифицированную модель данных имитационного приложения.

3. Разработать универсальные подсистемы двух- и трехмерной анимации результатов моделирования.

4. Документировать и начать применение на практике ряда корпоративных стандартов по архитектуре, функциям, сопряжению программных модулей и другим вопросам создания имитационных приложений.

## Литература

1. Т. Нейлор «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем». М.: Мир, 1975. – 500 стр.
2. В.В.Девятков «Разработка приложений в среде GPSS World»: Санкт-Петербург, 2005 г., Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика», Сборник докладов, том 1 стр. 186-190.
3. Власов С.А., Девятков В.В., Кобелев Н.Б. «Методология, технология и принципы программной реализации имитационных приложений», Санкт-Петербург, 2007 г., Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика», Сборник докладов, том 1 стр.17-26.
4. С.А.Власов, В.В.Девятков «Имитационное моделирование в России: прошлое, настоящее, будущее» Журнал: Автоматизация в промышленности, №5 2005, стр. 63-65.
5. S.A.Vlasov, V.V.Deviatkov «Experience in the development and application of simulation in Russia: review, analysis of prospects»: Proceedings 19<sup>th</sup> European Conference on Modeling and Simulation, ECMS 2005, June 1-4, 2005, pp. 23-27.
6. Р.Шеннон «Имитационное моделирование систем – искусство и наука», М.: Мир, 1978, 418 с.
7. Ковалев В.С., Усанов Д.И., Цуцков Д.В., Калинин С.В. «Укрупненная модель железнодорожного направления», Санкт-Петербург, 2007 г., Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика», Сборник докладов, том 2 стр.91-95.
8. А.Н.Козлов, Т.В.Девятков, П.А.Кейер «Исследование функционирования центра коллективной обработки информации методом имитационного моделирования», Санкт-Петербург, 2007 г., Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование, теория и практика», Сборник докладов, том 2 стр.96-100.
9. В.В.Самойлов, С.А.Власов, В.В.Девятков «Имитационное исследование системы сервисного обслуживания программно-технических средств ОАО «Татнефть», Автоматизация в промышленности, №4 2007, стр. 11-14.
10. Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В. Концепция и методы разработки распределенных имитационных приложений с использованием среды GPSS World, Тезисы Международной научно-технической конференции «Информационные технологии и математическое моделирование систем», Майорка, Испания, сентябрь 2008 г.
11. Н.Б. Кобелев «Основы имитационного моделирования сложных экономических систем». М.: Дело, 2003, 335с.

**Власов Станислав Александрович.** Ученый секретарь Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, кандидат технических наук. E-mail [savlas@yandex.ru](mailto:savlas@yandex.ru)

**Девятков Владимир Васильевич.** Директор ООО «Элина-Компьютер» г. Казань, кандидат технических наук. E-mail [vladimir@elina-computer.ru](mailto:vladimir@elina-computer.ru).

**Девятков Тимур Владимирович.** Аспирант Казанского государственного технического университета (КГТУ-КАИ) им. А.Н.Туполева. E-mail [the9th@yandex.ru](mailto:the9th@yandex.ru).